



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA



Università degli Studi di Genova

Facoltà di Medicina e Chirurgia
Campus Universitario di Savona

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

A.A. 2010 - 2011

ANATOMIA VASCOLARE DEL CARPO:

revisione della letteratura

Candidato: Adele Maria Magnani

Relatore: Diego Arceri

INDICE

Abstract	pag. 2
Introduzione	pag. 3
Materiali e metodi	pag. 4
Risultati	pag. 6
Discussione	pag. 10
1.1 Ossa ed articolazioni	pag. 10
1.2 Muscoli e tendini	pag. 15
1.3 Legamenti	pag. 19
1.4 Vascolarizzazione	pag. 31
Conclusione	pag. 52
Bibliografia	pag. 53

Abstract

Obiettivo: Lo scopo di questa tesi è una revisione della letteratura circa l'anatomia e i meccanismi di vascolarizzazione delle ossa del carpo.

Metodologia di revisione: Il metodo applicativo di ricerca è stato condotto utilizzando il database Medline con il motore di ricerca PubMed.

Le keywords utilizzate per effettuare la ricerca sono state: “*Wrist, Wrist Joint, Carpal Bones, Carpal Joint*” e “*Anatomy, wrist and carpal*” e loro combinazioni possibili..

I limiti impostati per la ricerca bibliografica sono lingua inglese, pubblicazioni degli ultimi 10 anni e studi su umani.

Risultati: Dei 779 articoli identificati con la ricerca bibliografica, trenta lavori sono stati considerati eleggibili per lo svolgimento della tesi. Ventidue articoli sui trenta selezionati sono stati utilizzati. 748 articoli sono stati esclusi perché o non contenevano dati rilevanti o non erano attinenti con il contenuto della tesi.

Conclusioni:

I principali contributi all'elaborato, vengono da revisioni di studi anatomici e/o con studi di imaging.

Sono state riscontrate, varianti di alcune inserzioni muscolari, varianti nei legamenti. Sono state evidenziate variabili nelle forme delle ossa carpali, in particolare del semilunare, piramidale ed uncinato.

Sono state trovate variabili nei legamenti.

Sono state trovate varianti anatomiche dello schema di vascolarizzazione delle ossa del carpo.

Introduzione

Questo studio si pone l'obiettivo di revisionare la letteratura alla ricerca delle più attuali conoscenze riguardanti l'anatomia del carpo e le relative adiacenze, con particolare attenzione alla vascolarizzazione arteriosa.

La problematica degli studi a riguardo, si evidenzia dalla combinazione di più fattori derivanti dalla complessa anatomia di questa regione, dalla piccola misura delle strutture e dalle rarefatte immagini che vengono rilevate. Attraverso revisioni di studi di immagini e studi anatomici, si cercherà di avvicinarsi ad una migliore comprensione dell'anatomia, che potrà essere utile per una migliore comprensione dell'approccio del terapeuta manuale ai metodi di trattamento di questo distretto.

Verranno descritte le varianti anatomiche più rilevanti e non, emerse dalla revisione degli studi, riguardanti: ossa, articolazioni, legamenti, ed il complesso e fragile schema vascolare. In particolare in questo articolo si fa il punto sulle conoscenze attuali riguardo all'organizzazione della vascolarizzazione arteriosa e venosa delle ossa del carpo e principalmente di quelle che sono maggiormente esposte ad osteonecrosi.

Materiale e metodi

Il metodo applicativo di ricerca è stato condotto utilizzando il database MEDLINE partendo dall'effettuazione di una serie di richieste sul motore di ricerca PUBMED.

Inizialmente è stata effettuata una ricerca per categorie tramite il sistema MeSH. Le keywords inserite per la ricerca Mesh sono state: *Wrist, Wrist Joint, Carpal Bones, Carpal Joint*.

Successivamente sono stati inseriti i seguenti Subheadings: *Anatomy and Histology, Blood Supply, Growth and Development, Metabolism, Physiology*.

Una volta identificati i Term MeSH, sono stati assegnati dei limiti per la ricerca: si è scelto di limitare le pubblicazioni relative agli ultimi 10 anni, in lingua inglese e di escludere gli studi fatti sugli animali.

La ricerca della letteratura on line è stata effettuata in un periodo di tempo compreso fra dicembre 2011 e maggio 2012.

I Term Mesh utilizzati sono stati i seguenti:

1. ("Wrist/anatomy and histology" [Majr] OR "Wrist/blood supply" [Majr] OR "Wrist/growth and development" [Majr] OR "Wrist/metabolism" [Majr] OR "Wrist/physiology" [Majr])
2. ("Wrist Joint/anatomy and histology" [Majr] OR "Wrist Joint/blood supply" [Majr] OR "Wrist Joint/growth and development" [Majr] OR "Wrist Joint/metabolism" [Majr] OR "Wrist Joint/physiology" [Majr])
3. ("Carpal Bones/anatomy and histology" [Majr] OR "Carpal Bones/blood supply" [Majr] OR "Carpal Bones/growth and development" [Majr] OR "Carpal Bones/metabolism" [Majr] OR "Carpal Bones/physiology" [Majr])
4. ("Carpal Joints/anatomy and histology" [Majr] OR "Carpal Joints/metabolism" [Majr] OR "Carpal Joints/physiology" [Majr])
5. ("Blood Vessels" [Mesh] AND anatomy [Mesh]) AND (carpus OR wrist OR hand). NOT pathology

Successivamente è stata fatta una ricerca sempre su PubMed utilizzando le seguenti parole chiave:

“anatomy” “wrist” “carpal”

1. Wrist [ti] anatomy [ti]
2. Carpal [ti] anatomy [ti]

3. "Vascular anatomy" AND (carpus OR wrist OR hand)

La ricerca tramite queste stringhe ha riportato 779 articoli di cui: esclusi 748.

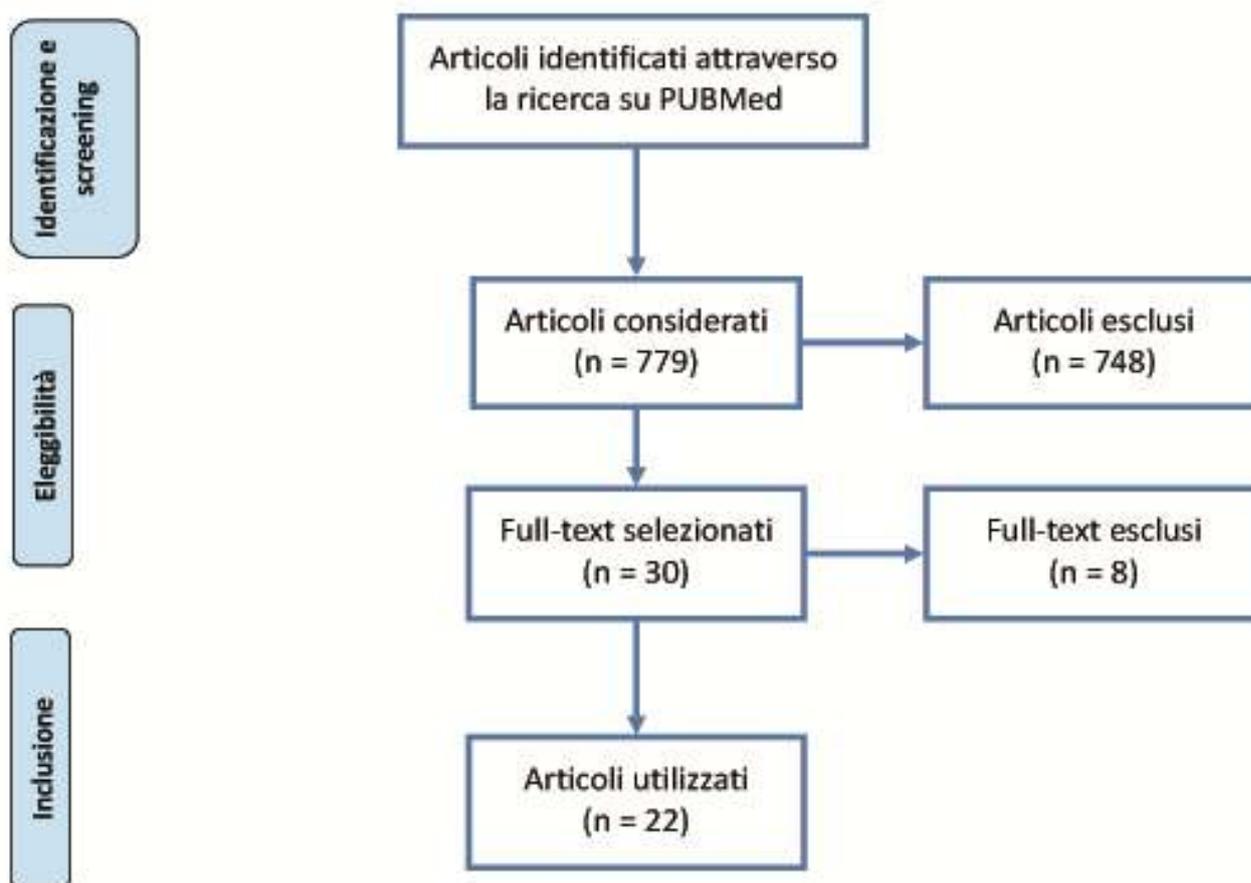
Dopo una prima selezione dei titoli e successivamente degli abstract, trenta articoli sono risultati utili rispetto al tema della tesi.

Il criterio di inclusione degli studi è stato: descrizioni di anatomia del carpo e del polso, argomento specifico della vascolarizzazione arteriosa delle ossa carpali, studi primari di dissezioni, studi di imaging

Il criterio di esclusione degli articoli riguardava la mancanza di attinenza con il tema di ricerca della tesi. e studi troppo specifici su tecniche di imaging e revisioni anatomiche di chirurghi, short reports e lettere.

Risultati

La ricerca effettuata sul portale PubMed ha permesso di raccogliere complessivamente trenta articoli di cui ventidue sono stati utilizzati. Otto restanti sono stati esclusi perché: di quattro non è stato possibile reperire il full text, due sono di lingua diversa dall'inglese/italiano/francese, uno era una lettera, un altro uno short report.



Nella tabella vengono riportati gli studi selezionati dalla mia ricerca.

Autori	Titolo	Anno	Tipo di studio	Risultati
Stein JM, Cook TS, Simonson S, Kim W.	Normal and variant anatomy of the wrist and hand on MR imaging.	2011	Review	Discute anatomia del polso e mano con le varianti anatomiche trovate attraverso immagini MR. Fusioni congenite delle ossa del carpo: la più comune è la coalizione semilunare / piramidale; più comune nelle donne; bilaterale nel 60% dei casi, presenza occasionale. Semilunare tipo I è comune come il tipo II. Nei muscoli interossei dorsali e palmari una grande varietà in numero ed inserzioni.
Nicholas Daunt	Magnetic resonance imaging of the wrist: anatomy and pathology of interosseous ligaments and the triangular fibrocartilage complex.	2002	Review	Revisione anatomica tridimensionale per una valutazione accurata del complesso TFCC ed adiacenze SLL ed LTL.
Moore DC, Crisco JJ, Trafton TG, Leventhal EL.	A digital database of wrist bone anatomy and carpal kinematics.	2007	Studio descrittivo in vivo	Prima creazione di un database tridimensionale statistico da volontari viventi. Emergono dati sulle diverse posizioni ossee carpali, da sviluppare in futuro
McLean J, Bain G, Eames M, Fogg Q, Pourgiezis N.	An anatomic study of the triquetrum-hamate joint.	2006	Studio anatomico descrittivo	Si evidenziano le superfici articolari tra piramidale ed uncinato, con i relativi tipi di forma e confronti con altre articolazioni intercarpali. L'ampliamento dell'articolazione scafoide / semilunare è spesso visto in concomitanza con la coalizione semilunare / piramidale, ma sembra riflettere una variante normale piuttosto che un danno legamentoso.
Dhar P, Lall K.	An atypical anatomical variation of palmar vascular pattern	2008	Case report Dissezioni da cadaveri freschi umani	Variazione anatomica dello schema di vascolarizzazione del palmo della mano. Caso clinico. Tipo di SPA incomplete incontrate nello studio. La vascolarizzazione arteriosa mostra una maggiore vulnerabilità a seguito di traumi, aumentando così le probabilità di sviluppo di alterazioni ischemiche nella mano distale.
Kijima Y, Viegas SF.	Wrist anatomy and biomechanics.	2009	Review	Ottima revisione con descrizione aggiornata dell'anatomia dei legamenti carpali e della biomeccanica del polso.

Vezeridis PS, Yoshioka H, Han R, Blazar P.	Ulnar-sided wrist pain. Part I: anatomy and physical examination.	2010	Review	Discute l' anatomia del polso sotto l'aspetto osseo, legamentoso ed arterioso con le relative più recenti varianti, l'esame clinico per comprendere il dolore alla parte ulnare del polso attraverso immagini MR.
Cardoso R, Szabo RM.	Wrist anatomy and surgical approaches.	2007	Review	Tratta l'anatomia ed alcuni dei più comuni approcci chirurgici al trauma del polso.
Fontaine C, Wavreille G, Aumar A, Bry R, Demondion X	Osseous vascular anatomy in the hand and wrist	2010	Review	Revisione sulle più attuali conoscenze dell'organizzazione generale della vascolarizzazione arteriosa e venosa, in particolare delle aree che sono maggiormente a rischio come le ossa del carpo: scafoide, capitato e semilunare sarebbero particolarmente esposti alla necrosi post traumatica.per la limitata vascolarizzazione.
Botte MJ, Pacelli LL, Gelberman RH.	Vascularity and osteonecrosis of the wrist.	2004	Review	Revisione studi dal 1938 al 1986. Descrizione dell'anatomia vascolare del carpo, dei sistemi vascolari extraosseo ed intraosseo, sottolineando le ossa carpali a rischio di osteonecrosi. La vascolarizzazione è legata ad osteonecrosi, non necessariamente collegata a traumi.
Mitchell B. Rotman, James P. Donovan	Practical anatomy of the carpal tunnel	2002	Review	Descrizione del tunnel carpale e sue adiacenze più rilevanti: il nervo mediano. Si sono trovate in letteratura variazioni del nervo all'ingresso o in prossimità del tunnel. Anomalie di muscoli e tendini o interconnessioni con il nervo.
David J. Slutsky	Arthroscopic Evaluation of the Foveal Attachment of the Triangular Fibrocartilage	2011	Studio artroscopico	Descrizione anatomica del TFCC.
Michael B. Zlatkin, Joel Rosner	MR Imaging of Ligaments and Triangular Fibrocartilage Complex of the Wrist	2006	Review	Revisione ed esame dei criteri diagnostici per interpretare le anomalie con MR dei legamenti del polso e TFCC.
Mitsuhiko Nanno, Rita M. Patterson, Steven F. Viegas	Three-Dimensional Imaging of the Carpal Ligaments	2006	Studio	Revisione e descrizione anatomica ottenuta con combinazione di: dissezioni + CT Imaging + 3D dei legamenti carpali.

Sanford Hawkins-Rivers, Jeffrey E. Budoff, Sabir K. Ismaily, Philip C. Noble, John Haddad	MRI Study of the Capitate, Lunate, and Lunate Fossa With Relevance to Proximal Row Carpectomy	2008	Studio in vivo	Studio della morfologia della superficie ossea del capitato che si articola con il semilunare con tecniche MR. Sono state trovate variazioni che potrebbero portare ad alterazioni nell'articolazione dopo intervento chirurgico di carpectomia.
Evan D. Collins, Idris Gharbaoui	Imaging and Anatomic Study of the Pisiform Bone/Ulnar Nerve Relationship—Evaluation of the Preferred Surgical Approach for the Excision of the Pisiform Bone	2010	Studio	Dissezione anatomica combinata con MR. Trovate relazioni dell'osso pisiforme con il nervo ulnare.
Elisabet Hagert, Carl-Göran Hagert	Understanding Stability of the Distal Radioulnar Joint Through an Understanding of Its Anatomy	2010	Review	La conformità ossea e legamentosa della DRUJ è fondamentale per la stabilità dell'articolazione.
Ajay Gupta, Nawal M. Al-Moosawi	Lunate morphology	2002	Studio	Studio sulla morfologia tramite CT Imaging. Uno studio del 2007 più recente comprende tali dati.
Ghazi M. Rayan, Bretton H. Jameson, Kyung W. Chung,	The Pisotriquetral Joint: Anatomic, Biomechanical, and Radiographic Analysis	2005	Studio	Dissezione anatomica e valutazione radiografica di 12 arti con variazioni del comportamento dei legamenti. Sono stabilizzatori primari della PT-J: i legamenti PH, PM e PT ulnare.
Kimberly K. Amrami, Steven L. Moran, Richard A. Berger, Eric C. Ehman, Joel P. Felmlee	Imaging the Distal Radioulnar Joint	2010	Review	Le più appropriate tecniche di MR imaging come aiuto per una migliore visualizzazione dei legamenti e valutazione dei diversi componenti dell'articolazione in esame.
Joseph S. Yu, Paula A. Habib	Normal MR Imaging Anatomy of the Wrist and Hand	2006	Review	MR imaging a confronto per migliore comprensione dell'articolazione e descrizione anatomica che verrà ripresa in altri articoli più recenti.
P. Arya, R. Kulshreshtha, G. K. Kakarala, R. Singh, J. P. Compson	Visualisation of the pisotriquetral joint through standard portals for arthroscopy of the wrist	2007	Studio anatomico e clinico	Variante anatomica di connessione è stata trovata nello studio della PT-J e RC-J. Sembra in connessione con dolore alla parte ulnare del polso.

Discussione

Qui viene trattata la descrizione dell'anatomia del carpo selezionata dagli studi di revisione della letteratura la maggior parte dei quali traggono le loro fonti dalle tradizionali dissezioni anatomiche e le tecniche più moderne di imaging. Viene dato più spazio all'organizzazione generale del sistema vascolare del carpo ed alle proprie varianti.

Anatomia

Ossa ed articolazioni

Il polso è composto dalle estremità distali del radio e ulna, da otto ossa carpali e dalle basi prossimali delle cinque ossa metacarpali.

Le ossa carpali sono classificate come una fila prossimale ed una distale sulla base del loro comportamento cinematico nella mobilità globale del polso [Kuo CE et al, 2008]. Da laterale a mediale la fila ossea carpale prossimale è costituita da scafoide, semilunare, piramidale e

pisiforme; la fila ossea distale è costituita da trapezio, trapezoide, capitato ed uncinato. La fila delle ossa carpali prossimali può essere descritta come un segmento intercalato poiché nessun tendine è inserito su di loro, ed il loro movimento è totalmente dipendente dalle forze meccaniche provenienti dalle articolazioni circostanti [Kuo CE et al, 2008].



Fig. 1. Radiografia che mostra gli archi di Gilula. Tre archi arrotondati delineano normalmente i margini corticali prossimali (arco I) e distali (arco II) della fila carpale prossimale e le superfici carpali prossimali (arco III) del uncinato e capitato si notano in una vista postero-anteriore del polso [Vezeridis PS, Yoshioka H, Han R, Blazar P., *Ulnar-sided wrist pain. Part I: anatomy and physical examination.* 2010].

Il complesso di due file di ossa carpali che formano archi smussati permette la normale ampiezza di movimento del polso. Gilula identificò tre archi (archi di Gilula) che circoscrivono la parte prossimale (primo arco) e distale (secondo arco) delle superfici articolari della prima fila carpale (scafoide, semilunare e piramidale), e l'opposta superficie articolare formata dalle convessità dell'osso capitato e dell'uncinato (terzo arco) [Metz VM et al. 1996] (Fig. 1).

Alla vista ulnare del polso, l'ulna distalmente si articola con il complesso del triangolo fibrocartilagineo. L'osso a mezzaluna semilunare, si articola lateralmente con lo scafoide, medialmente con il piramidale, prossimalmente con il radio e distalmente con il capitato. Presso i bordi prossimali e distali delle articolazioni scafoide / semilunare e semilunare / piramidale si formano archi smussati contigui. Interruzioni degli archi possono suggerire fratture. Il semilunare potrebbe avere una stretta faccetta nella vista medio distale che si articola con l'uncinato (semilunare tipo II) (Fig. 2).

Malik ed altri riportarono un semilunare tipo II in metà di 186 polsi [Malik AM et al. 1999].

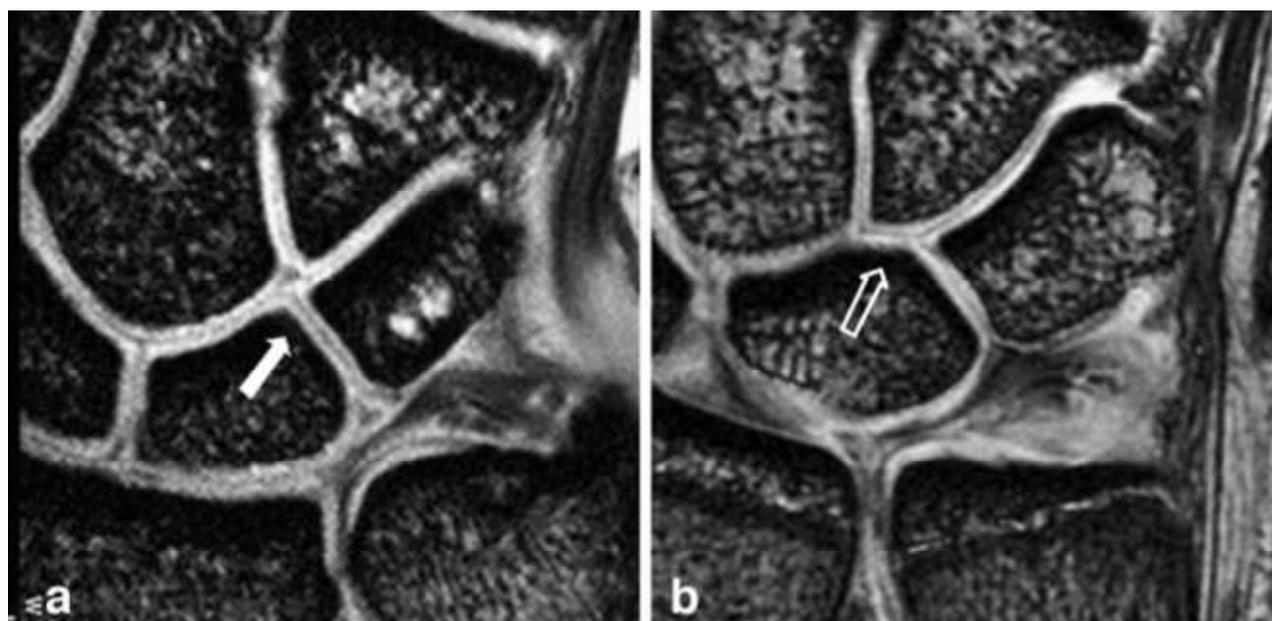


Fig. 2. Semilunare tipo II; in (a) un semilunare tipo I si articola solo con il capitato distalmente (vedi freccia piena), mentre in (b) un semilunare tipo II si articola sia con il capitato che con l'uncinato (freccia vuota) [Vezeridis PS, Yoshioka H, Han R, Blazar P., *Ulnar-sided wrist pain. Part I: anatomy and physical examination. 2010*].

Un precedente studio su cadavere trovò la presenza del semilunare tipo II del 73% [Viegas SF et al. 1993]. Altri studi trovarono prevalenza del semilunare tipo II nel 50%-57%. [Pfirrmann CW et al. 2002, Sagerman SD et al. 1995].

Lo studio di Malik e collaboratori dimostrò che la misura media della faccetta supplementare di tipo II, era di 4.6 millimetri (intervallo 1.2–12.0 mm) e l'opposto (articolazione) della faccetta in più del semilunare con l'uncinato una media del 77.4% (intervallo 0–100) [Malik AM, et al. 1999]. Un'immagine in MR di semilunare tipo II ha usualmente un'apparenza innocua. Una larga percentuale di pazienti con semilunare tipo II, ha pure condromalacia, la quale spesso è occulta nelle immagini di MR.

I legamenti intrinseci del polso scafoide / semilunare e semilunare / piramidale ancorano il semilunare. In aggiunta, i due più grandi legamenti intrinseci del polso, il radio / piramidale ed il radio / semilunare, si uniscono nell'aspetto volare del semilunare.

Il piramidale si articola con l'uncinato alla faccia distale, con il semilunare alla faccia laterale e con il pisiforme alla faccia volare. Anche il piramidale si articola con il triangolo fibrocartilagineo al suo aspetto prossimale.

L'articolazione piramidale / uncinato è un'articolazione elicoidale che permette al piramidale di ruotare attorno all'uncinato ed ha una capacità limitata di traslazione distalmente, come una vite. La maggior parte delle articolazioni piramidale / uncinato giacciono su un piano continuo con l'articolazione capitato / semilunare e sono descritte come tipo I; in 20% dei pazienti l'articolazione piramidale / uncinato è separata dall'articolazione capitato / semilunare da una faccetta dell'uncinato / semilunare, descritta come un tipo II semilunare [Burgess et al. 1990].

Il pisiforme si articola con il piramidale alla sua superficie posteriore e da l'attacco al flessore ulnare del carpo, all'abducente del 5 dito ed al legamento trasverso del carpo.

Il pisiforme / piramidale è un'articolazione sinoviale che giace anteriormente al restante del carpo ed è suscettibile di disturbi che affliggono le articolazioni sinoviali. Il più delle volte la sinovia dell'articolazione pisiforme / piramidale non comunica con il compartimento radiocarpale nel 12–25% delle artrografie [Pessis et al. 2006, Theumann et al. 2002].

Varianti ossee normali

Coalizione semilunare / piramidale

Si verificano fusioni congenite delle ossa del carpo a causa della segmentazione incompleta di un comune precursore cartilagineo carpale. La più comune di queste anomalie è la coalizione semilunare / piramidale (Fig. 3), che è riportata nel 0.1% della popolazione Caucasica [Carlson DH. 1981] ma può essere vista fino al 10% degli afro-americani [Delaney TJ et al, 1992], ed è più comune nelle donne. La coalizione semilunare / piramidale è bilaterale nel 60% dei casi [Cockshott WP. 1963]. La coalizione carpale può essere completa o parziale, e

può essere ossea, fibrosa o cartilaginea. L'ampliamento dell'articolazione scafoide / semilunare è spesso visto in concomitanza con la coalizione semilunare / piramidale, ma sembra riflettere una variante normale piuttosto che un danno legamentoso [Metz VM et al, 1993]. La coalizione semilunare / piramidale è di solito un riscontro occasionale, ma è stato segnalato come causa di dolore al polso nei rari casi in cui vi è associata l'artrite degenerativa [Marburger R et al, 1995], coalizione cartilaginea incompleta [Simmons BP et al, 1985, Ritt MJ et al, 2001], o interruzione traumatica di una coalizione fibrocartilaginea [van Schoonhoven J et al, 2001].

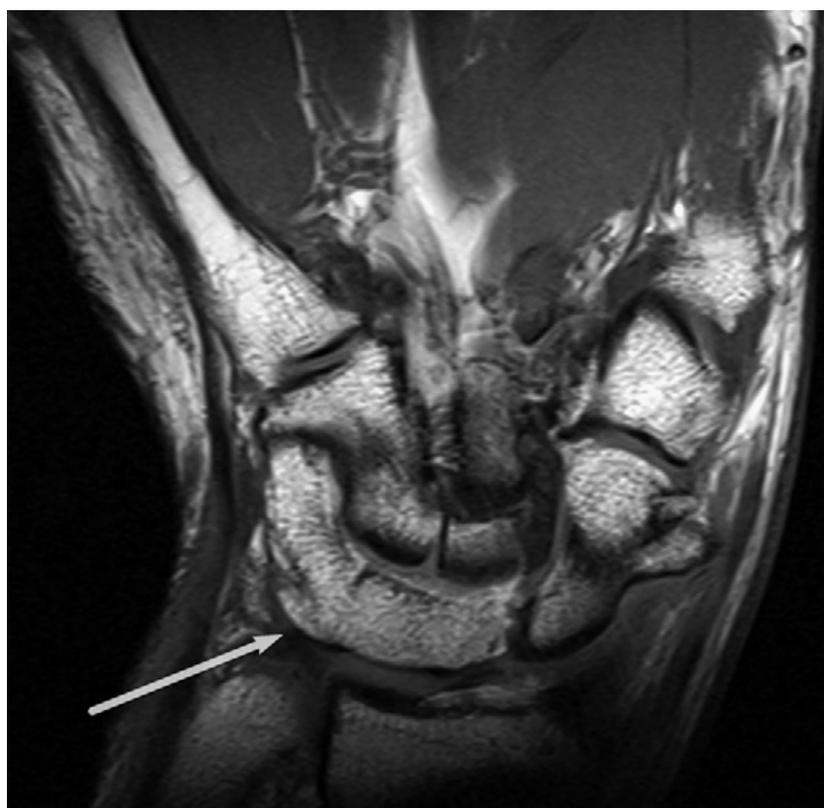


Fig. 3. Coalizione Semilunare / piramidale. Un'immagine coronale T1-pesata del polso mostra una coalizione ossea tra il semilunare ed il piramidale (freccia) [Stein JM, Cook TS, Simonson S, Kim W., *Normal and variant anatomy of the wrist and hand on MR imaging. 2011*].

Semilunare del tipo II

L'osso semilunare del tipo I ha anatomia classica; si articola prossimalmente con il radio, medialmente con il piramidale, lateralmente con lo scafoide e distalmente con il capitato. L'osso semilunare del tipo II ha una faccetta addizionale che si articola con l'uncinato (Fig. 4). L'osso semilunare del tipo II è altrettanto comune del tipo I, essendo presente dal 50% al

65% dei campioni o soggetti cadaverici e studi di imaging a seconda del criterio usato [Viegas SF et al, 1990, Yazaki N et al, 2008, Malik AM et al, 1999, Pfirrmann CW et al, 2002]. E' da notare che il semilunare di tipo II è frequentemente associato a cambiamenti degenerativi al polo prossimale dell'uncinato e può essere causa di dolore al lato ulnare del polso. In campioni sezionati, Viegas et al [Viegas SF et al, 1990] hanno trovato un'erosione della cartilagine con l'osso subcondrale esposto nel 44% dei semilunari tipo II e nessuno nei tipo I esaminati. Edema del midollo osseo e lesioni condrali al polo prossimale dell'uncinato associate con un semilunare di tipo II possono essere visti in immagini MR [Malik AM et al, 1999, Pfirrmann CW et al, 2002].



Fig. 4. Semilunare del tipo II. Un'immagine coronale T2-pesata con saturazione del grasso del polso mostra un semilunare del tipo II caratterizzato dalla presenza di una faccetta che si articola distalmente con l'uncinato (freccia) [Stein JM, Cook TS, Simonson S, Kim W., *Normal and variant anatomy of the wrist and hand on MR imaging. 2011*].

In uno studio di McLean et al. [James McLean, MBBS, Gregory Bain, MBBS, Michael Eames, MD, Quintin Fogg, PhD, Nicholas Pourgiezis, MBBS: *An Anatomic Study of the Triquetrum–Hamate Joint; 2005*] hanno indagato la superficie articolare dell'articolazione piramidale / uncinato (TqH). Sono stati identificati due distinti modelli di superfici articolari TqH

sull'uncinato, chiamati *tipo I* (31 di 46) e *tipo II* (15 di 46). Anche sul piramidale sono stati distinti due modelli di superfici articolari TqH, chiamati *tipo A* (18 di 46) e *tipo B* (15 di 46). 13 dei 46 piramidali esaminati avevano caratteristiche che erano un misto variabile dei due tipi di superfici A e B, ma questi non hanno una similarità sufficiente a costituire un terzo tipo di superficie del piramidale. I modelli di articolazione corrispondenti di queste superfici articolari mostrano una forte tendenza per un tipo A piramidale ad articolare con un tipo I uncinato (18 su 46 di tutte le articolazioni) e per un tipo piramidale B ad articolare con un tipo II uncinato (13 su 46 di tutte le articolazioni).

Muscoli e tendini

Polso

I flessori ed estensori del polso hanno i loro ventri muscolari nelle parti prossimali e mediali dell'avambraccio.

I tendini dei flessori ed estensori corrono lungo la superficie palmare e dorsale del polso, rivestendo la capsula articolare, per inserirsi sulle ossa carpali e sulle falangi. I tendini dei flessori che si inseriscono sulle falangi, passano sopra le ossa carpali dentro al tunnel carpale. Il trapezio e l'uncino dell'uncinato delimitano lateralmente e medialmente il tunnel carpale. Il retinacolo del flessore si attacca dall'uncino dell'uncinato alle tuberosità del trapezio e scafoide per formare il tetto del tunnel carpale. Il tendine del flessore ulnare del carpo è mediale all'uncino dell'uncinato ed esterno al tunnel carpale.

Il flessore radiale del carpo decorre lungo il trapezio tra le fibre del retinacolo del flessore.

Il tendine palmare lungo, quando presente, passa sopra alla parte prossimale del retinacolo del flessore ed eventualmente si unisce alla parte centrale del retinacolo e l'aponeurosi palmare.

Mano

La mano è controllata dai muscoli estrinseci ed intrinseci. I muscoli estrinseci includono i flessori superficiale e profondo delle dita, gli estensori delle dita, l'estensore dell'indice e l'estensore del mignolo. Ci sono muscoli estrinseci che specificamente muovono il pollice; questi sono il flessore lungo del pollice, gli estensori lungo e breve del pollice e l'abduuttore lungo del pollice. I muscoli estrinseci sono così chiamati perché i loro ventri muscolari si trovano nell'avambraccio anziché nella mano. I muscoli intrinseci della mano includono quelli delle eminenze del tenar ed ipotenar, i muscoli interossei ed i muscoli lombricali.

L'eminenza del tenar si trova sulla faccia laterale della superficie palmare della mano. Si compone lateralmente dall'abduuttore breve del pollice, medialmente dal flessore breve del

pollice e dorsalmente dall'opponente del pollice (Fig. 5) [Wheeless CR III. 2010]. Insieme con i muscoli adduttori del pollice, questo gruppo rappresenta i muscoli intrinseci del pollice.

L'eminenza dell'ipotenar si trova nella parte mediale della superficie palmare della mano. Da mediale a laterale, è composta dai muscoli abduktore del dito mignolo, dal flessore del mignolo e dall'opponente del mignolo che controllano il movimento del quinto dito (Fig. 5) [Wheeless CR III. 2010]. Insieme ai muscoli dell'eminenza tenar, questi contengono i muscoli intrinseci della mano.

I muscoli interossei palmare e dorsale sono così chiamati a causa della loro posizione tra le ossa del metacarpo, rispettivamente lungo le facce palmare e dorsale della mano.

L'aponeurosi palmare è la fascia dei muscoli palmari, ed è composta da componenti centrale, laterale e mediale. Il componente centrale a forma di ventaglio proviene dal tendine palmare lungo, e dà origine al tendine palmare breve. Esso copre i tendini flessori e rami dei nervi mediani ed ulnari [Bojsen-Moller F et al, 1974]. I componenti laterale e mediale rivestono i muscoli del pollice e del quinto dito.

Varianti dei muscoli interossei

Gli studi hanno dimostrato nei muscoli interossei dorsali e palmari una grande varietà in numero ed inserzioni [Mehta HJ et al, 1961]. I siti di inserzione degli interossei palmari possono talvolta includere la piattaforma palmare oltre all'apparato estensore. In alcuni individui, gli interossei palmari possono anche avere più capi come gli interossei dorsali, a volte fino a tre.

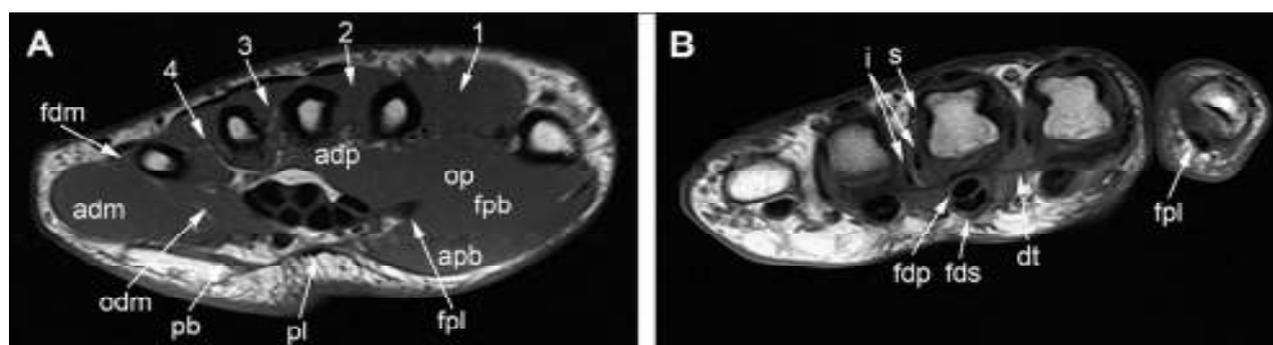


Fig. 5. Mano normale. Immagini MR assiali T1-pesate MR della mano attraverso i livelli prossimale (A) e distale (B). Si notano dal primo al quarto muscoli interosseo (1, 2, 3, 4), con le frecce puntate sugli interossei dorsali. Strutture etichettate: (A) Adduttore del pollice (adp), opponente del pollice (op), flessore breve del pollice (fpb), abduktore breve del pollice (apb), tendine flessore lungo del pollice (fpl), inserzione palmare lunga (pl), palmare breve (pb), opponente del mignolo (odm), abduktore del mignolo (adm), e flessore del mignolo (fdm). (B) Flessore lungo del pollice (fpl), legamento metacarpale trasverso profondo (dt), flessore

superficiale delle dita (fds), flessore profondo delle dita (fdp), tendini interossei (i), e fascia sagittale (s) [Stein JM, Cook TS, Simonson S, Kim W., *Normal and variant anatomy of the wrist and hand on MR imaging. 2011*].

Anatomia del retinacolo

Due distinti strati fasciali contengono il polso volare. Lo strato superficiale è costituito dal legamento volare carpale e dalla fascia palmare. Uno strato più profondo, il retinacolo dei flessori, è diviso in tre zone anatomiche da prossimale a distale (Fig. 6). La porzione prossimale è in gran parte contigua alla fascia antibrachiale. La parte centrale, il legamento trasverso del carpo (TCL), si collega dalla parte ulnare all'uncinato dell'uncinato ed al pisiforme, e dalla parte radiale al tubercolo dello scafoide ed alla tuberosità del trapezio. Il TCL ha la funzione di tetto del canale carpale. La porzione distale è l'aponeurosi tra i muscoli del tenar e dell'ipotenar.

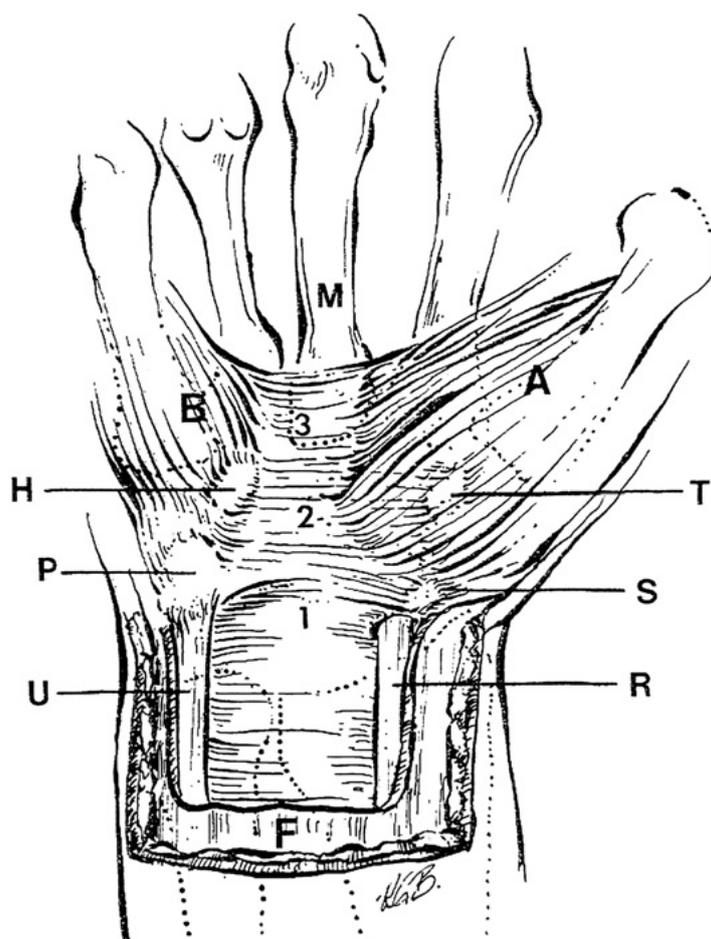


Fig. 6. Le tre porzioni del retinacolo dei flessori. A, muscoli del tenar; B, muscoli dell'ipotenar; H, uncinato; P, pisiforme; R, flessore radiale del carpo; S, scafoide; T, trapezio; U, flessore ulnare del carpo. [Cobb TK, Dalley BK, Posteraro RH, et al. *Anatomy of the flexor retinaculum. J Hand Surg (Am) 1993*].

Il canale carpale giace direttamente sotto il TCL e contiene dal lato radiale il flessore lungo del pollice, dal lato volare il nervo mediano, gli otto tendini del flessore superficiale delle dita ed il flessore profondo delle dita. Il canale di Guyon si trova sul lato ulnare del canale carpale e contiene il nervo e l'arteria ulnare. Il canale di Guyon giace al di sopra del legamento trasverso del carpo, tra il pisiforme e l'uncino dell'uncinato. Il suo pavimento è formato dal TCL ed il suo tetto dal legamento carpale volare e dal palmare breve. E' delimitato radialmente dall'uncino dell'uncinato e dai tendini flessori delle dita, ed ulnarmente dal pisiforme, dal flessore ulnare del carpo e dall'abduuttore del mignolo (Fig. 7).

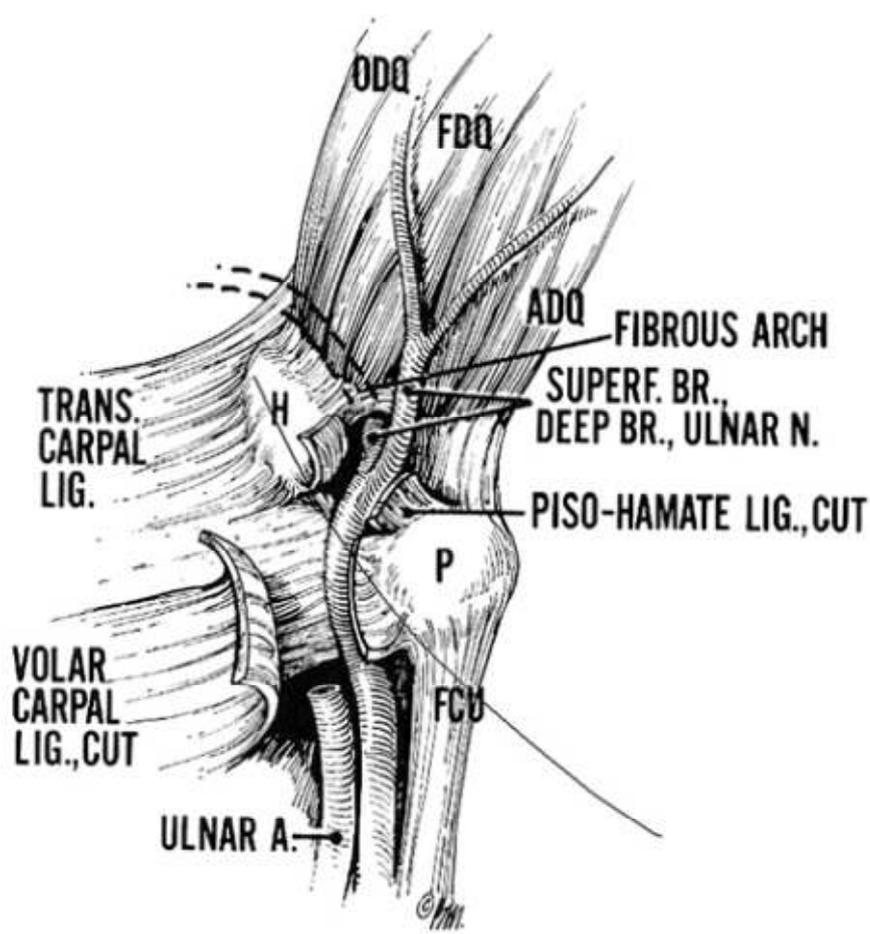


Fig. 7. Canale di Guyon. Da notare che l'arteria ulnare passa radialmente al canale. [Szabo RM. *Compression neuropathies*. In: Green DP, Hotchkiss RN, Pederson WC, editors. *Operative hand surgery*. 4th edition. New York: Churchill Livingstone; 1999].

Il retinacolo degli estensori giace attraverso tutto il dorso del polso e previene il distacco dei tendini estensori. I tendini estensori del polso e delle dita passano sotto il retinacolo degli estensori attraverso sei gallerie distinte, o compartimenti dorsali (Fig. 8). Oltre alla loro

propria funzione, i compartimenti dorsali sono eccellenti punti di riferimento per l'approccio chirurgico.

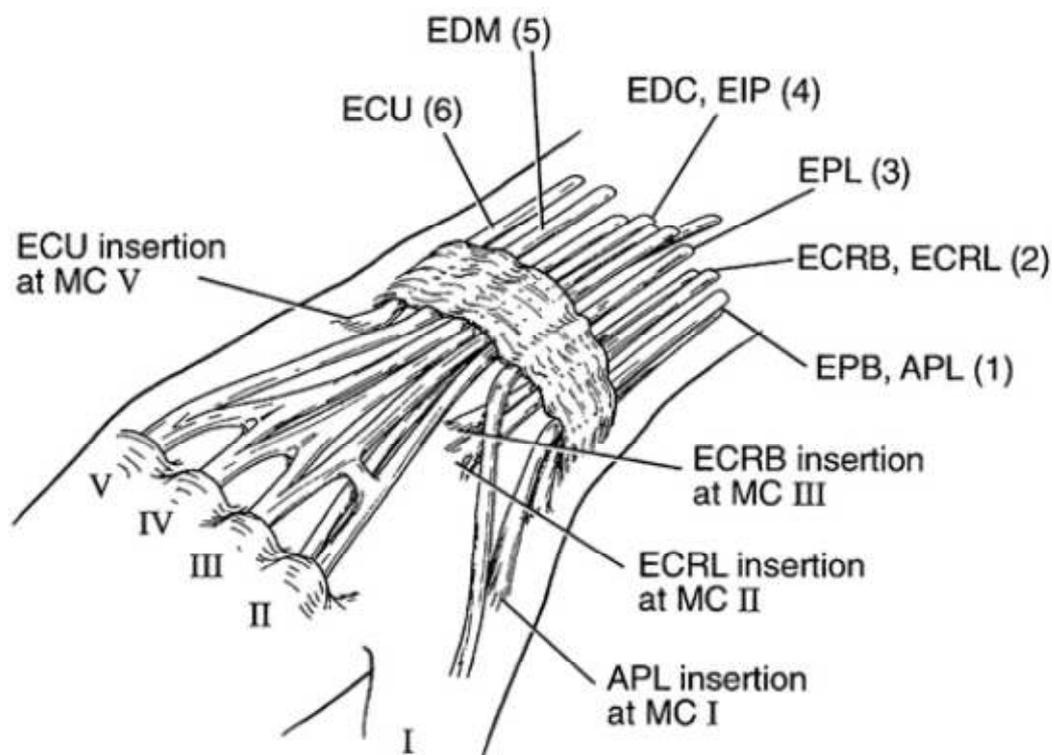


Fig. 8. Il retinacolo degli estensori e sei compartimenti dorsali. [Trumble TE. *Principles of hand surgery and therapy*. Philadelphia: W.B. Saunders; 2000].

Legamenti

L'anatomia dei legamenti carpali

Le ossa della fila distale del carpo sono strettamente legate tra loro da robusti legamenti intercarpali, ed il movimento tra di loro può essere considerato trascurabile. Analogamente, la connessione legamentosa quasi rigida del trapezio e capitato con le ossa metacarpali dell'indice e medio e la mancanza di movimento tra queste ossa permette di considerare funzionalmente la fila distale come parte di una unità fissa della mano che si muove in risposta alle forze muscolo tendinee dell'avambraccio [Kuo CE et al, 2008].

I legamenti del carpo qui descritti sono stati divisi da Taleisnik [Taleisnik J et al, 1976] in gruppi estrinseci ed intrinseci, sulla base della loro posizione.

I legamenti estrinseci collegano il radio distale e l'ulna alle ossa carpali, ed i legamenti intrinseci hanno le loro origini e inserzioni entro le ossa del carpo. Nagao ed altri [Kawamura K et al, 2007; Nagao S et al, 2005, Nanno M et al, 2006, Nanno M et al, 2007] hanno ripreso

immagini in tomografia computerizzata del polso da cui sono state modellate figure tridimensionali delle ossa; inoltre le aree delle connessioni sono elencate nella Tabella 1. E' stata anche osservata la presenza o l'assenza di ogni legamento. I siti di attacco e la zona dei legamenti sono stati identificati nelle figure da colori specifici, ed i percorsi del legamento vengono visualizzati con colori semitrasparenti.

TABLE 1. Individual Ligament Attachments of the Volar, Dorsal, and Interosseous Ligaments on the Lunate

Volar Ligaments			
	Location	Area (mm ²)	Specimens (n = 8)
LRL	Radius	10.9 ± 2.9	8
	Lunate	7.6 ± 2.5	8
SRL	Radius	12.8 ± 3.8	8
	Lunate	13.7 ± 5.6	8
RSL	Radius	5.0 ± 1.7	8
	Scaphoid	3.2 ± 1.9	8
UL	Lunate	5.5 ± 3.2	8
	Lunate	2.7 ± 2.7	4
LT	Lunate	3.8 ± 2.2	7
	Triquetrum	2.8 ± 0.8	7
Dorsal Ligaments			
DRC	Radius	14.3 ± 4.0	8
	Lunate	1.9 ± 0.6	4
	Triquetrum	8.5 ± 5.4	8
DIC	Triquetrum	9.8 ± 6.4	8
	Lunate	3.8 ± 1.3	6
	Scaphoid		
	Proximal	5.7 ± 2.3	8
	Waist	5.2 ± 3.2	6
	Trapezoid	4.0 ± 2.3	8
	Trapezium	2.4	1
Interosseous Ligaments			
SLIO	Volar		
	Scaphoid	4.7 ± 1.7	8
	Lunate	4.9 ± 1.8	8
	Proximal		
	Scaphoid	13.7 ± 7.0	8
	Lunate	16.3 ± 5.6	8
LTIO	Dorsal		
	Scaphoid	4.9 ± 0.8	8
	Lunate	4.9 ± 2.4	8
	Volar		
	Lunate	5.8 ± 2.1	8
	Triquetrum	5.2 ± 2.2	8
LTIO	Proximal		
	Lunate	14.4 ± 4.6	8
	Triquetrum	11.7 ± 3.7	8
	Dorsal		
	Lunate	3.9 ± 2.8	8
	Triquetrum	2.2 ± 0.9	8

LRL, long radiolunate ligament; SRL, short radiolunate ligament; RSL, radioscapoid ligament; UL, ulnolunate ligament; LT, lunotriquetral ligament; DRC, dorsal radiocarpal ligament; DIC, dorsal intercarpal ligament; SLIO, scapholunate interosseous ligament; LTIO, lunotriquetral interosseous ligament.

Source: Reprinted from The Journal of Hand Surgery, Volume 30, Nagao S, Patterson RM, Buford WL, Anderson CR, Shah MA, Viegas SF, Three-dimensional description of ligamentous attachments around the lunate, p. 687, Table 2. Copyright © 2005, with permission from The American Society for Surgery of the Hand.

Tabella 1. [Kijima Y, Viegas SF., *Wrist anatomy and biomechanics*. 2009].

Legamenti estrinseci

Legamenti dorsali: I legamenti dorsali sono importanti come stabilizzatori secondari dell'articolazione scafoide / semilunare [Kuo CE et al, 2008].

Legamento dorsale radiocarpale: Il legamento dorsale radiocarpale proviene prossimalmente dalla porzione ulnare e dorsale dell'estremità distale del radio, dal tubercolo di Lister al livello della cresta interfossale tra la fossa dello scafoide e la fossa del semilunare (Fig. 9). Questo legamento si connette distalmente al tubercolo prossimale e dorsale del piramidale e del semilunare.

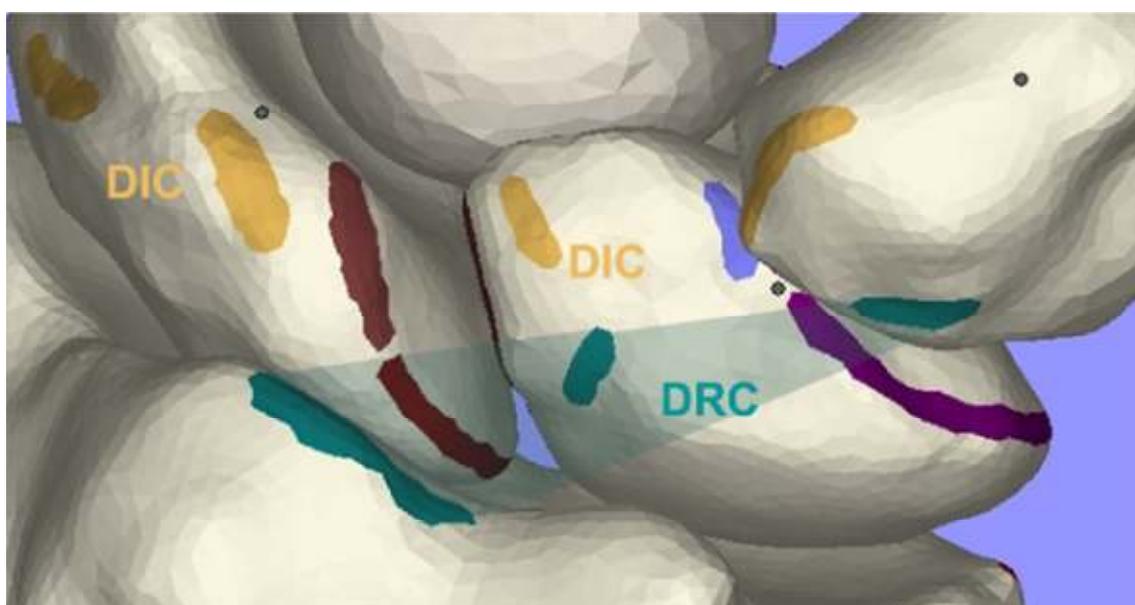


Fig. 9. Visione dorsale di un modello tridimensionale dell'articolazione del polso destro. Le aree colorate mostrano il cammino del legamento. DRC, legamento radiocarpale dorsale; DIC, legamento intercarpale dorsale. Da Nagao S et al, Descrizione tridimensionale delle connessioni legamentose intorno al semilunare [Kijima Y, Viegas SF., *Wrist anatomy and biomechanics*. 2009].

Legamenti volari: I legamenti volari estrinseci svolgono un ruolo importante nella stabilizzazione del polso [Kawamura K et al, 2007]. E 'generalmente accettato che quelli sulla faccia palmare garantiscano un maggior vincolo all'instabilità [Katz DA et al, 2003]. Ci sono tre forti legamenti radiocarpali palmari estrinseci: il radio / scafoide / capitato, il radio / semilunare lungo ed il radio / semilunare breve (Fig. 10) [Trail AI et al, 2007].

Legamento radio / scafoide / capitato: Il legamento radio / scafoide / capitato origina prossimalmente dal processo stiloideo del radiale al bordo volare del radio distale a livello

della fossa scafoidea (Fig. 10). Passa distalmente al lato radiale sulla parte mediale dello scafoide e prossimale al polo distale.

Legamento radio / semilunare lungo: Il legamento radio / semilunare lungo proviene dal bordo volare della fossa scafoidea del radio distale (Fig. 10). L'attacco prossimale del legamento radio / semilunare lungo è sovrapposto parzialmente dal legamento radio / scafoide / capitato. Il legamento radio / semilunare lungo è legato distalmente al bordo radiale e distale del semilunare, e dal lato volare e leggermente ulnare all'attacco del segmento volare del legamento interosseo scafoide / semilunare senza collegarsi allo scafoide. Anche il legamento radio / semilunare lungo si sovrappone completamente alla porzione volare del legamento interosseo scafoide / semilunare. Questo legamento potrebbe fornire un vincolo contro l'ulna o la traslocazione distale del semilunare. Un'area di debolezza capsulare nota come *spazio di Poirier* [Trail AI et al, 2007] è situata tra il legamento radio / semilunare lungo ed i legamenti radio / scafoide / capitato, a livello dell'articolazione mediocarpale.

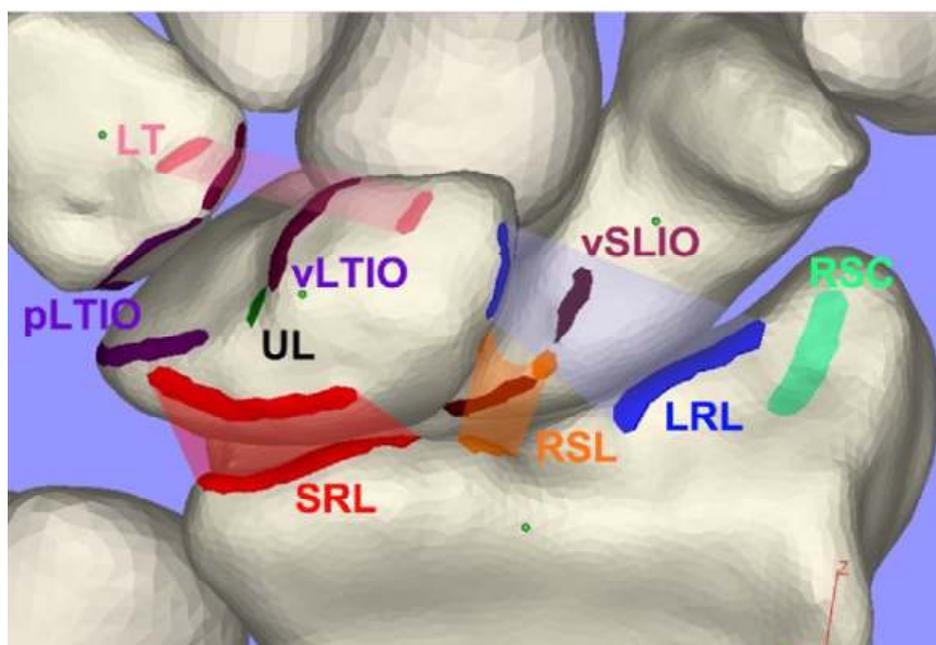


Fig. 10. Visione volare di un modello tridimensionale del semilunare destro e delle ossa carpali adiacenti con le aree delle connessioni del legamento identificate da colori differenti. Le aree semitrasparenti mostrano il cammino dei legamenti. LRL, legamento radio / semilunare lungo; SRL, legamento radio / semilunare breve; RSL, legamento radio / scafoide / semilunare; LT, legamento semilunare / piramidale; vSLIO, porzione volare del legamento interosseo scafoide / semilunare; pLTIO, porzione prossimale del legamento interosseo semilunare / piramidale vLTIO, porzione volare del legamento interosseo semilunare / piramidale; RSC, legamento radio / scafoide / capitato; UL, legamento ulna / semilunare). Da

Nagao S et al, Descrizione tridimensionale delle connessioni legamentose intorno al semilunare [Kijima Y, Viegas SF., *Wrist anatomy and biomechanics*. 2009].

Legamento radio / semilunare breve: Il legamento radio / semilunare breve origina prossimalmente dall'ulnare e dal bordo volare della fossa semilunare del radio distale (Fig. 10). Questo legamento è collegato distalmente al margine volare del semilunare. Si trova prossimale al legamento ulna / semilunare e le parti volari fibrose e prossimali membranose del legamento interosseo semilunare / piramidale.

Legamento radio / scafoide / semilunare: Il legamento radio / scafoide / semilunare si trova nella regione tra i legamenti radio / semilunare lungo e radio / semilunare breve, ed è fissato prossimalmente sul bordo volare del radio distale (Fig. 10). Questo attacco è situato in corrispondenza della cresta interfossale tra le fosse scafoidea e semilunare. Il legamento radio / scafoide / semilunare si ramifica ai segmenti dello scafoide e del semilunare e si collega tra le porzioni prossimale e volare del legamento interosseo scafoide / semilunare sia sullo scafoide che sul semilunare. Pur essendo il radio / scafoide / semilunare elencato come un legamento, in realtà non è considerato un legamento vero e proprio, e non possiede una struttura meccanica sostanziale.

Legamento ulna / semilunare: Il legamento ulna / semilunare proviene dal legamento radioulnare prossimale (Fig. 10). Si attacca sul lato ulnare del semilunare, e distale all'attacco del legamento radio / semilunare breve sul bordo volare del semilunare. Nagao et al. ha dichiarato che il legamento ulna / semilunare origina radiale all'attacco dei legamenti ulna / capitato ed ulna / piramidale alla base del processo stiloide ulnare e corre parallelo ai legamenti ulna / semilunare ed ulna / piramidale [Nagao S et al, 2005]. Essi hanno inoltre riferito che l'attacco dei legamenti radio / semilunare lungo, radio / semilunare breve, radio / scafoide / semilunare, ulna / semilunare, e semilunare / piramidale sul semilunare occupano circa il 49% di tutti gli attacchi dei legamenti sul semilunare.

Legamento ulna / capitato: il legamento ulna / capitato nasce dalla fovea della testa dell'ulna e dal processo prossimale. Questo legamento copre parzialmente sia i legamenti ulna / piramidale che ulna / semilunare e si attacca distalmente al lato prossimale e volare del capitato.

Legamento intrarticolare

Il legamento intrarticolare terzo - quarto metacarpale / capitato-uncinato: Il legamento intrarticolare terzo - quarto metacarpale / capitato-uncinato è posizionato (e connesso a) tra il terzo metacarpale, il quarto metacarpale, il capitato e l'uncinato (Fig. 11 e 12). La parte principale di questo legamento passa dal centro del lato ulnare della terza base metacarpale al centro del lato radiale dell'uncinato. Il ramo dal centro del lato radiale della quarta base metacarpale unisce la parte principale di questo legamento alla terza articolazione carpometacarpale. Il ramo dal centro del lato ulnare del capitato unisce la parte principale di questo legamento alla quarta articolazione carpometacarpale.

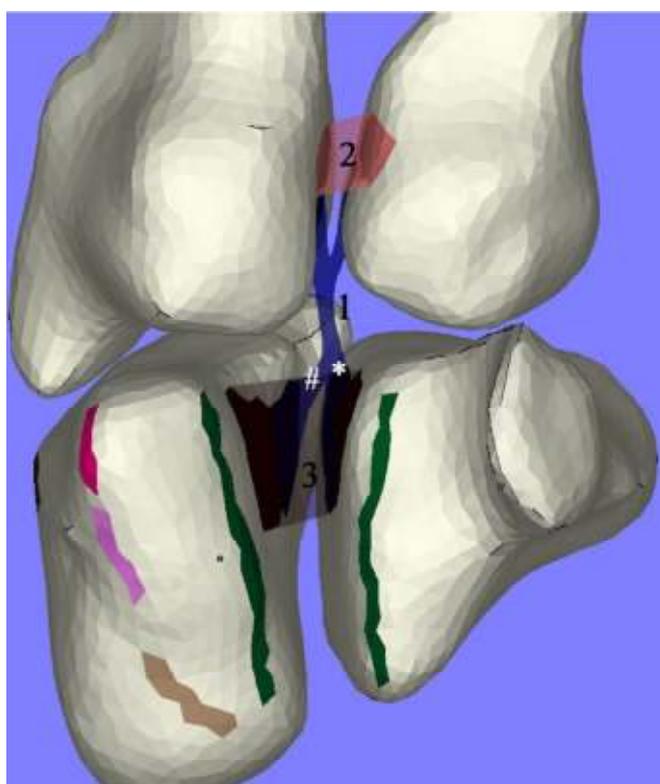


Fig. 11. Un'immagine volare di un'articolazione tra terzo / quarto metacarpale sinistro e capitato / uncinato. Questo modello è ottenuto aprendo l'articolazione terzo / quarto metacarpale e l'articolazione capitato / uncinato dal lato volare ed è sviluppata da una simulazione al computer di modelli digitalizzati di ossa. 1, legamento intrarticolare terzo – quarto metacarpale / capitato - uncinato; 2, legamento interosseo base del terzo metacarpale ulnare / base del quarto metacarpale radiale; 3, legamento interosseo capitato / base uncinato. *, la porzione del legamento intrarticolare terzo – quarto metacarpale / capitato – uncinato connessa all'uncinato. #, la porzione del legamento intrarticolare terzo – quarto metacarpale / capitato – uncinato connessa al capitato [Kijima Y, Viegas SF., *Wrist anatomy and biomechanics*. 2009].

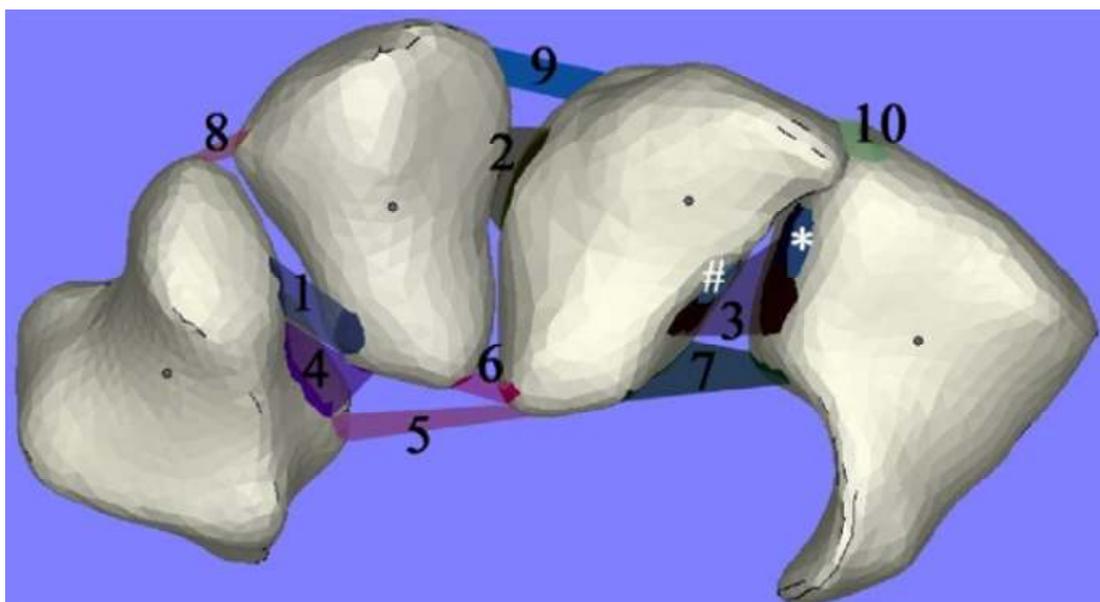


Fig. 12. Una vista distale dall'articolazione carpometacarpale di un modello tridimensionale della fila distale carpale del polso sinistro. Le aree in colore pieno indicano gli attacchi dei legamenti, e le aree in colore semitrasparente mostrano i percorsi dei legamenti. 1, legamento interosseo trapezio / trapezoide; 2, legamento interosseo capitato / trapezoide; 3, legamento interosseo capitato / uncinato; 4, legamento volare trapezio / trapezoide; 5, legamento capitato / trapezio; 6, legamento volare capitato / trapezoide; 7, legamento volare capitato / uncinato; 8, legamento dorsale trapezio / trapezoide; 9, legamento dorsale capitato / trapezoide; 10, legamento dorsale distale capitato / uncinato. *, La porzione di legamento connesso all'uncinato. #, La porzione di legamento connesso al capitato [Kijima Y, Viegas SF., *Wrist anatomy and biomechanics*. 2009].

Legamenti intrinseci

I due legamenti più importanti intrinseci ed interossei, lo scafoide / semilunare ed il semilunare / piramidale, sono divisi nelle parti dorsale, prossimale e palmare. La parte più spessa e più robusta del legamento semilunare / piramidale si trova palmarmente [Trail AI et al, 2007].

Legamenti dorsali

Legamento intercarpale dorsale: Il legamento dorsale intercarpale si connette prossimalmente sulla porzione distale e radiale del tubercolo dorsale del piramidale (Fig. 13). Nagao et al [Nagao S et al, 2005] ha precisato che questo legamento si sovrappone alla porzione dorsale della parte distale della zona dorsale del legamento interosseo scafoide / semilunare. Essi hanno inoltre riferito che gli attacchi sia del legamento dorsale radiocarpale che del dorsale

intercarpale sul semilunare occupano circa il 15% di tutti gli attacchi dei legamenti del semilunare. Più recentemente, Short et al ha riferito che la porzione più spessa del legamento intercarpale dorsale si inserisce sulla scanalatura dorsale dello scafoide ed un braccio sottile del legamento si inserisce sul trapezio dorsale e sul trapezoide prossimale [Short WH et al, 2007]. Viegas et al ha descritto la configurazione laterale a V formata dai legamenti intercarpale dorsale e radiocarpale dorsale; questa conferisce un'importante stabilità dorsale indiretta al complesso scafoide / semilunare durante il movimento del polso [Viegas SF et al, 1999]. I legamenti intercarpale dorsale e radiocarpale dorsale sono importanti per mantenere la stabilità e l'allineamento carpale e giocano un ruolo importante nel prevenire lo sviluppo di instabilità del segmento intercalato dorsale (DISI) e deformità del segmento intercalato volare.

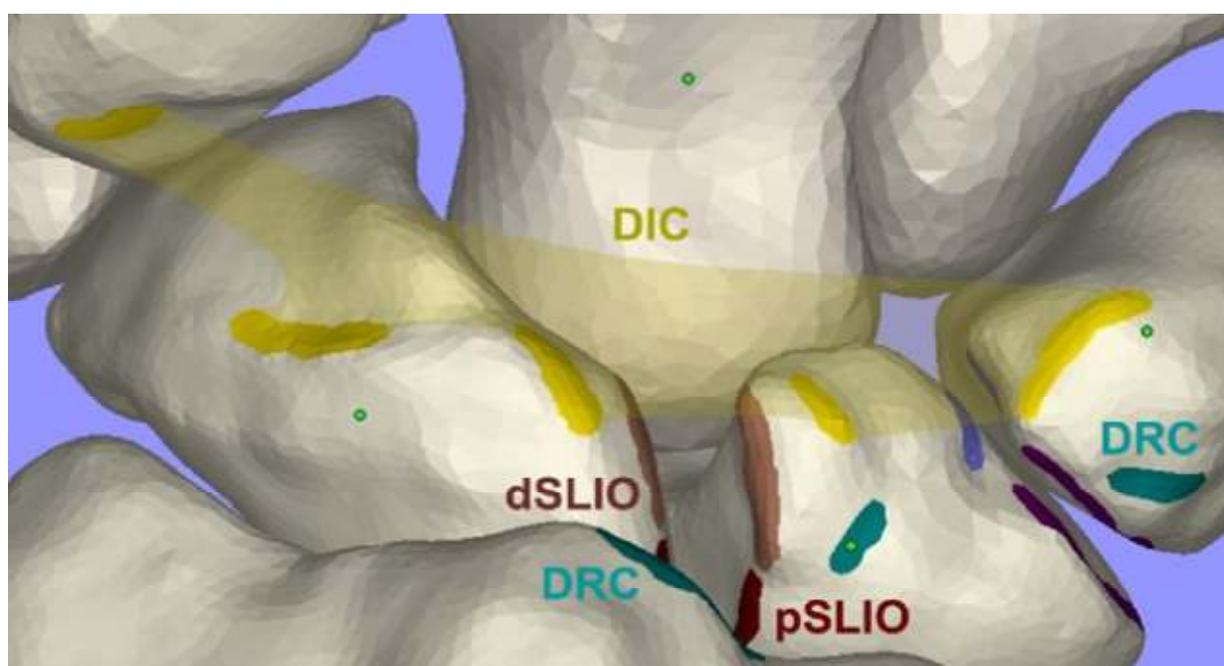


Fig. 13. Una vista dorsale di un modello tridimensionale dell'articolazione di un polso destro. Le aree in colore pieno indicano gli attacchi, e le aree in colore semitrasparente mostrano il cammino dei legamenti. DRC, legamento radiocarpale dorsale; DIC, legamento intercarpale dorsale; dSLIO, porzione dorsale del legamento interosseo scafoide / semilunare; pSLIO, porzione prossimale del legamento interosseo scafoide /semilunare. Da Nagao S et al, Descrizione tridimensionale delle connessioni legamentose intorno al semilunare [Kijima Y, Viegas SF., *Wrist anatomy and biomechanics*. 2009].

Legamento trapezio / trapezoide dorsale: Il legamento trapezio / trapezoide dorsale si connette al bordo ulnare del trapezio. Passa dalla parte ulnare al bordo radiale del trapezoide.

Legamento capitato / trapezoide dorsale: il legamento capitato / trapezoide dorsale si connette al bordo ulnare del trapezoide (Fig. 12 e 14). Passa dalla parte ulnare al bordo distale e radiale del capitato.

Legamento capitato / uncinato dorsale: Il legamento capitato / uncinato dorsale è composto dal legamento capitato / uncinato distale e dal legamento capitato / uncinato prossimale. Il legamento capitato / uncinato distale nasce dal lato distale del bordo ulnare del capitato e si connette al lato distale del bordo radiale dell'uncinato (Fig. 12 e 14). Il legamento capitato / uncinato prossimale nasce dal lato prossimale del bordo ulnare del capitato e si connette al lato prossimale del bordo radiale dell'uncinato.

Legamento piramidale / uncinato dorsale: Il legamento piramidale / uncinato dorsale nasce prossimalmente dal bordo radiale e distale del piramidale. Questo legamento si connette distalmente al bordo prossimale e volare dell'uncinato.

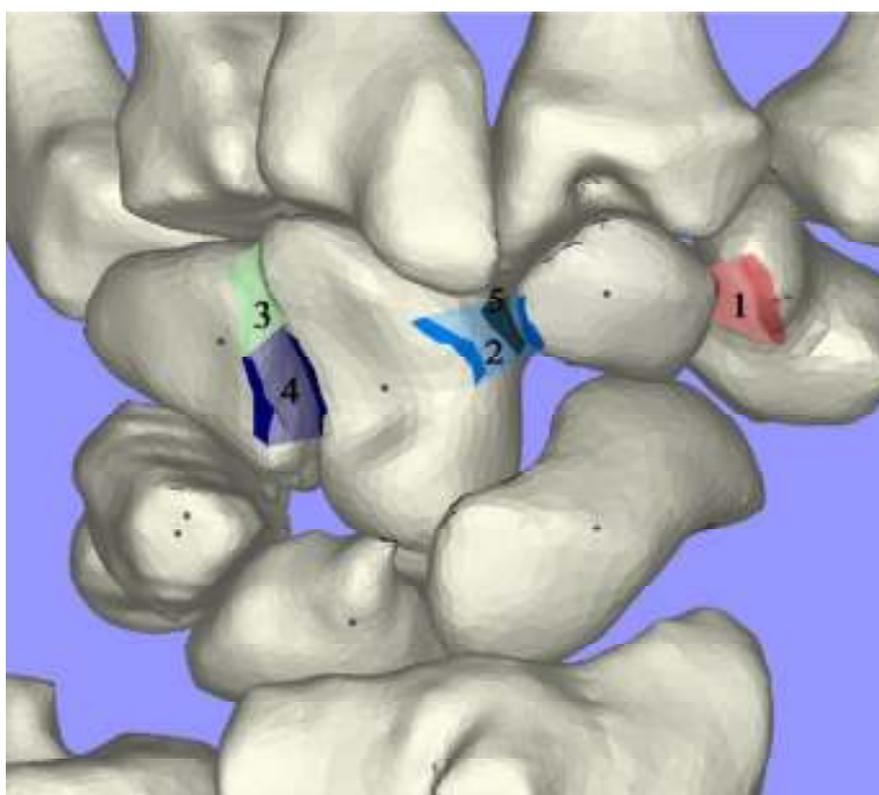


Fig. 14. Una vista dorsale di un modello tridimensionale di un polso sinistro. Le aree in colore pieno mostrano gli attacchi dei legamenti, e le aree in colore semitrasparente descrivono il percorso dei legamenti. 1, legamento trapezio / trapezoide dorsale; 2, legamento capitato / trapezoide dorsale; 3, legamento distale capitato / uncinato dorsale; 4, legamento prossimale capitato / uncinato dorsale; 5, legamento interosseo capitato / trapezoide [Kijima Y, Viegas SF., *Wrist anatomy and biomechanics*. 2009].

Legamenti volari

Legamento semilunare / piramidale: Nagao et al ha recentemente descritto il legamento semilunare / piramidale come una struttura indipendente che è stata identificata separatamente dal legamento interosseo semilunare piramidale [Nagao S et al, 2005]. Questo legamento ha origine dal lato distale ed ulnare del semilunare e si inserisce distalmente all'attacco del legamento ulna / semilunare e radialmente al legamento interosseo semilunare / piramidale volare. Il legamento semilunare / piramidale si sovrappone parzialmente al legamento volare semilunare / piramidale interosseo. Inoltre Nagao et al. ha stabilito che il legamento semilunare / piramidale dovrebbe essere una parte del legamento radio / piramidale descritto da Mayfield et al [Mayfield JK et al, 1976].

Legamento trapezio / trapezoide volare: Il legamento trapezio / trapezoide volare si collega al bordo ulnare del trapezio. Passa dal lato ulnare al bordo radiale del trapezoide (Fig. 12 e 15).

Legamento scafoide / trapezio: Il legamento scafoide / trapezio è composto da due rami che provengono dal lato radiale e volare della tuberosità dello scafoide. I rami radiale ed ulnare di questo legamento si estendono e divergono distalmente creando una forma a V, e si collegano rispettivamente al lato radiale e prossimale del trapezio (Fig. 15).

Legamento scafoide / trapezoidale: Il legamento scafoide / trapezoidale supporta l'articolazione scafotrapezio - trapezoidale con i legamenti scafoide / trapezio (Fig. 14). Questo legamento nasce dalla faccia distale e volare della tuberosità dello scafoide e si connette distalmente al bordo prossimale del trapezoide.

Legamento scafoide / capitato: Il legamento scafoide / capitato si collega radialmente ai lati ulnare e volare del polo distale dello scafoide ed ulnarmente ai lati radiale e volare del capitato (Fig. 12 e 15). Una linea che unisce l'origine del legamento scafoide / trapezio ed il legamento scafoide / capitato è quasi perpendicolare alla cresta tra le faccette dello scafoide distale [Morimoto H et al, 2000].

Legamento capitato / trapezoide volare: Il legamento capitato / trapezoide proviene dai lati volare ed ulnare del trapezio. Questo legamento si connette ai lati radiale e volare del capitato senza alcun contatto con il trapezoide (Fig. 12 e 15).

Legamento capitato / uncinato volare: Il legamento capitato / uncinato volare si collega al bordo ulnare del capitato e passa ulnarmente al bordo radiale del semilunare (Fig. 12 e 15).

Legamento piramidale / capitato: Il legamento piramidale / capitato si collega prossimalmente al bordo volare e radiale del piramidale e distalmente ai lati ulnare e volare del capitato.

Legamento piramidale / uncinato volare: Il legamento piramidale / uncinato volare si collega prossimalmente al bordo distale e radiale del piramidale e distalmente al bordo prossimale e dorsale del uncinato. Nakamura et al [Nakamura K et al, 2001] ha descritto la relazione anatomica tra i legamenti piramidale / capitato e piramidale / uncinato volare come dipendente dal tipo di semilunare, in cui nel tipo I non esiste la faccetta mediale dell'uncinato e nel tipo II è presente una faccetta mediale dell'uncinato. La relazione tra i legamenti piramidale / capitato e piramidale / uncinato è stata classificata in tre tipi. Nel tipo A, il legamento piramidale / capitato è completamente separato dal legamento piramidale / uncinato; nel tipo B, il legamento piramidale / capitato si sovrappone al piramidale / uncinato; e nel tipo C, il legamento piramidale / capitato ha un legamento addizionale dal piramidale al polo prossimale dell'uncinato. L'82% dei semilunari di tipo I sono stati associati al tipo A in relazione ai legamenti piramidale / capitato e piramidale / uncinato, ed il 96% dei semilunari di tipo II sono stati associati al tipo C in relazione ai legamenti piramidale / capitato e piramidale / uncinato

Legamenti interossei

Legamento interosseo scafoide / semilunare: Il legamento interosseo scafoide / semilunare unisce lo scafoide ed il semilunare lungo il bordo prossimale della superficie articolare ed è descritto come una struttura in tre parti, con una porzione volare, una prossimale ed una dorsale (Fig. 13). Il legamento scafoide / semilunare prossimale è considerevolmente più sottile, e dà un importante contributo alla stabilità di rotazione dell'articolazione scafoide / semilunare. Istologicamente si presenta come una struttura fibrocartilaginea e, isolato, contribuisce poco a limitare il movimento anomalo dell'articolazione scafoidea / semilunare [Kuo CE et al, 2008]. Il legamento interosseo scafoide / semilunare dorsale è ora considerato come il più grosso, il più robusto ed il più critico degli stabilizzatori dell'articolazione scafoide / semilunare [Berger RA et al, 1999]. Si tratta di un legamento vero, con fibre di collagene orientate trasversalmente, ed è un freno primario non solo alla distensione, ma anche al momento torsionale e traslazionale [Kuo CE et al, 2008]. Il legamento interosseo scafoide / semilunare è lo stabilizzatore primario, ed i legamenti radio / scafoide / capitato e scafoide / trapezio sono stabilizzatori secondari dell'articolazione scafoide / semilunare [Short WH et al, 2005].

Legamento interosseo semilunare / piramidale: Il legamento interosseo semilunare / piramidale si unisce al piramidale ed al semilunare lungo il bordo prossimale della superficie articolare (Fig. 10). Il legamento interosseo semilunare / piramidale viene anche descritto

come una struttura in tre parti con una porzione volare, una porzione prossimale ed una porzione dorsale.

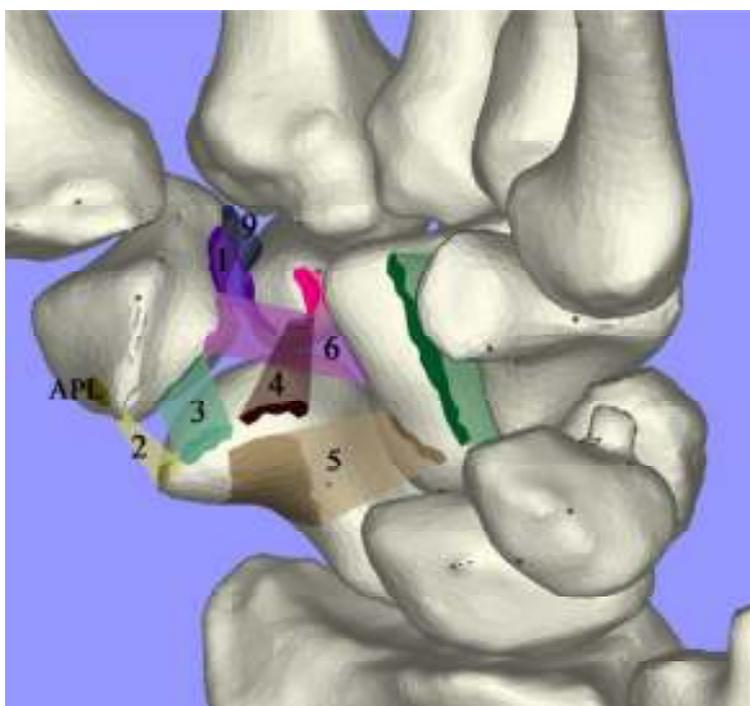


Fig. 15. Una vista volare di un modello tridimensionale di un polso sinistro. Le aree in colore solido mostrano gli attaches dei legamenti e le aree in colore semitrasparente mostrano il cammino dei legamenti. 1, legamento trapezio / trapezoide volare; 2, ramo radiale del legamento scafoide / trapezio; 3, ramo ulnare del legamento scafoide / trapezio; 4, legamento scafoide / trapezoidale; 5, legamento scafoide / capitato; 6, legamento capitato / trapezio; 9, legamento interosseo trapezio / trapezoide; APL, abductore lungo del pollice [Kijima Y, Viegas SF., *Wrist anatomy and biomechanics*. 2009].

Legamento interosseo trapezio / trapezoide: Il legamento interosseo trapezio / trapezoide è interamente localizzato all'interno dell'articolazione trapezio / trapezoide (Fig 12 e 15). Si connette al lato volare del bordo ulnare del trapezio e passa ulnarmente al lato distale del bordo radiale del trapezoide.

Legamento interosseo capitato / trapezoide: Il legamento interosseo capitato / trapezoide è interamente localizzato all'interno dell'articolazione capitato / trapezoide (Fig 12 e 14). Passa dal centro del lato ulnare del trapezoide al lato distale e radiale del capitato.

Legamento interosseo capitato / uncinato: Il legamento interosseo capitato / uncinato è interamente localizzato all'interno dell'articolazione capitato / uncinato (Fig. 11 e 12). Passa dal centro del lato ulnare del capitato al lato distale e radiale dell'uncinato.

Vascularizzazione

La vascularizzazione del carpo è assicurata dalle arterie radiale, ulnare ed interossea anteriore. A livello del carpo, queste arterie contribuiscono ad un sistema vascolare carpale dorsale e palmare, ciascuno dei quali consiste in una serie di archi vascolari trasversali interconnessi da anastomosi longitudinali.

Anatomia vascolare extraossea del carpo

La circolazione extraossea è formata principalmente da rami delle arterie radiale, ulnare ed anteriori interossea. Queste tre arterie formano una serie di archi trasversali dorsale e palmari interconnessi da numerosi rami [Gelberman RH et al. 1983]. Gli archi trasversali dorsale e palmare forniscono rispettivamente la vascularizzazione dorsale carpale e palmare (Fig. 16).

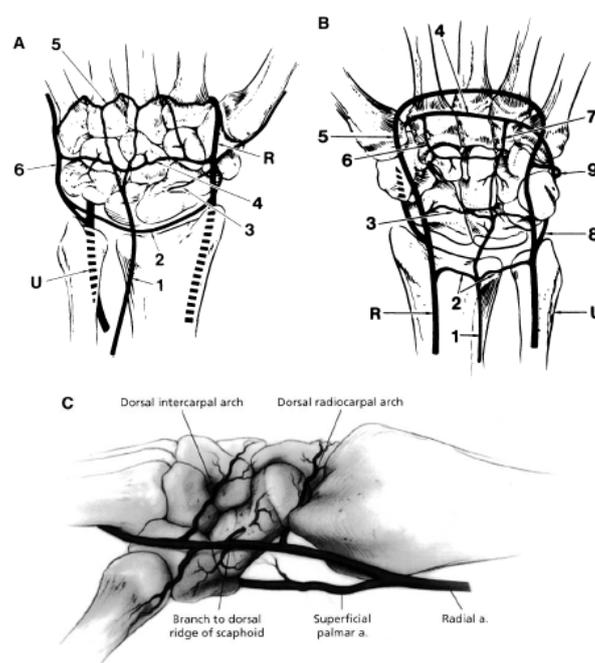


Fig. 16. (A) L'alimentazione arteriosa del dorso del polso. R, arteria radiale; U, arteria ulnare; 1, arteria interossea anteriore; 2, arco radiocarpale dorsale; 3, ramo per la cresta dorsale dello scafoide; 4, arco intercarpale dorsale; 5, arco metacarpale basale; 6, ramo mediale dell'arteria ulnare. (B) L'alimentazione arteriosa della faccia palmare del polso. R, arteria radiale; U, arteria ulnare, 1, ramo palmare, arteria interossea anteriore; 2, arco radiocarpale palmare; 3, arco intercarpale palmare; 4, arco palmare profondo; 5, arco palmare superficiale; 6, arteria radiale ricorrente; 7, arteria ulnare ricorrente; 8, ramo mediale, arteria ulnare; 9, ramo dell'arteria ulnare che contribuisce all'arco intercarpale dorsale. (C) L'alimentazione arteriosa della faccia radiale del polso. A, arteria. [Gelberman RH, Panagis JS, Taleisnik J, Baumgaertner M. *The arterial anatomy of the human carpus. Part 1: The extraosseous vascularity.* J Hand Surg (Am) 1983].

Arteria radiale

L'arteria radiale è la più regolare delle arterie che irrorano carpo. Di solito si compone di sette rami principali del carpo: tre dorsali, tre palmari ed un ramo finale che continua distalmente (Fig. 16). Il ramo più prossimale dell'arteria radiale è l'arteria palmare superficiale. Lascia l'arteria radiale da 5 a 8 millimetri prossimale alla punta della stiloide radiale, passa tra il flessore radiale del carpo ed il brachioradiale, e continua distalmente a contribuire all'arco superficiale palmare. Il secondo ramo dell'arteria radiale aiuta a formare l'arco palmare radiocarpale. Questo ramo lascia l'arteria radiale circa 5 mm. distale dall'arteria palmare superficiale e continua attraverso il carpo palmare a livello dell'articolazione radiocarpale.

Un terzo ramo si origina a livello dell'articolazione radiocarpale e continua dorsalmente lungo l'ulna, penetrando il legamento radiocarpale profondo dei tendini estensori. Questo ramo alimenta l'arco dorsale radio carpale. Il quarto ramo dell'arteria radiale nasce dal lato palmare a livello dell'articolazione scafo trapezoidale. Questo ramo alimenta il tubercolo dello scafoide e la superficie radiopalmare del trapezio. Il ramo si anastomizza poi con l'arteria palmare superficiale. Questo vaso è assente nel 25% dei campioni, nel 25% si anastomizza con un ramo dell'arteria palmare superficiale prima di entrare nel tubercolo dello scafoide. Il quinto ramo dell'arteria radiale, l'arteria alla cresta dorsale dello scafoide, proviene direttamente dall'arteria radiale nel 75% dei campioni e dall'arco radiocarpale o intercarpale nel 25%. Il corso di questa arteria prosegue in direzione leggermente ulnare e retrograda per raggiungere e penetrare la cresta dorsale dello scafoide. Il sesto ramo lascia l'arteria radiale 5 millimetri distale dal ramo alla cresta dorsale dello scafoide e contribuisce all'arco dorsale intercarpale. Questo arco corre dall'ulna attraverso il trapezoidale e la metà distale del capitato prima di ramificarsi ed anastomizzarsi con il ramo dorsale dell'arteria interossea anteriore ed i rami dorsali dell'arteria ulnare. L'ultimo ramo dell'arteria radiale origina al livello del trapezio e corre radialmente e distalmente per alimentare il trapezio e la faccia laterale del pollice metacarpale [Gelberman RH et al. 1983]. L'arteria radiale continua distalmente per formare l'arco palmare profondo (Fig. 16 B).

L'arco palmare profondo è solitamente formato dall'estremità terminale dell'arteria radiale anastomizzata con l'arteria ulnare. L'arco palmare profondo fornisce l'alimentazione arteriosa alla filiera distale del carpo, di solito attraverso due rami, le arterie ricorrenti radiale e ulnare. Questi vasi corrono in direzione retrograda, da distale a prossimale, per alimentare la filiera distale del carpo. L'arteria radiale ricorrente è leggermente più piccola e proviene dal arco palmare profondo appena lateralmente alla base dell'indice metacarpale. Corre prossimalmente a biforcarsi sull'aspetto palmare del trapezoide. Si anastomizza con l'arteria

ulnare ricorrente nel 45% dei campioni. L'arteria ulnare ricorrente proviene dall'arco palmare profondo tra le basi dei metacarpi terzo e quarto. Corre prossimalmente all'interno della scanalatura prossimale del legamento tra il capitato e l'uncinato ed irroro ogni osso. L'arteria ulnare ricorrente si anastomizza con la porzione terminale dell'arteria interossea anteriore nell'80% dei campioni [Gelberman RH et al. 1983]. L'arco palmare profondo può emettere una arteria ulnare ricorrente accessoria. Questa arteria nasce dall'arco palmare profondo da 5 a 10 mm mediale all'arteria ulnare ricorrente. Alimenta la faccia mediale del gancio del uncinato. Un'arteria ulnare ricorrente accessoria si trova nel 27% dei campioni. Se il vaso non è presente, la faccia mediale del uncinato è alimentato da rami diretti dell'arteria ulnare [Gelberman RH et al. 1983].

Arteria ulnare

L'arteria ulnare emette più piccoli vasi a livello del carpo che attraversano entrambi le facce dorsale e palmare del carpo mediale (Fig. 16 A, B). Circa a livello dell'ulna distale, nascono tre rami: un ramo per l'arco radiocarpale dorsale, un ramo per l'arco radiopalmare palmare ed uno per il polo prossimale del pisiforme e la faccia palmare del piramidale. Diversi piccoli rami alimentano il lato radiale del pisiforme. Un ramo aggiuntivo contribuisce a formare l'arco palmare intercarpale. A livello dell'articolazione mediocarpale, il ramo mediale dell'arteria ulnare contribuisce all'arco dorsale intercarpale. Questo ramo irroro anche il pisiforme distale e l'uncinato mediale e continua dorsalmente tra i legamenti pisiforme / uncinato e pisiforme / metacarpale contribuendo all'arco dorsale intercarpale.

Distalmente, a livello delle basi metacarpali, l'arteria ulnare contribuisce all'arco basale metacarpale. Un ramo palmare profondo che nasce distalmente contribuisce all'arco palmare profondo. L'arteria ulnare continua distalmente e radialmente e contribuisce all'arco palmare superficiale [Gelberman RH et al. 1983].

Arteria interossea anteriore

L'arteria interossea anteriore si biforca in rami dorsale e palmare a livello del muscolo pronatore quadrato (Fig. 16 A, B). Il ramo dorsale prosegue distalmente lungo la membrana interossea per raggiungere il carpo. Contribuisce all'arco dorsale radiocarpale nell'89% dei campioni [Gelberman RH et al. 1983]. Piccoli rami alimentano il semilunare o si connettono con diversi piccoli rami della arteria radiale per aiutare ad irrorare la cresta dorsale dello scafoide. Il ramo dorsale dell'arteria interossea anteriore si biforca a livello dell'articolazione mediocarpica, e con ogni ramo contribuisce all'arco intercarpale (nel 83% dei campioni). Il

ramo dorsale dell'arteria interossea termina anastomizzandosi con i vasi ricorrenti dall'arco della base metacarpale presso il terzo e quarto spazio interosseo (nel 70% dei campioni) [Gelberman RH et al. 1983]. Il ramo palmare dell'arteria interossea anteriore continua distalmente in profondità fino al pronatore quadrato (Fig. 16 B). Si biforca da 5 a 8 millimetri prossimale all'arco radiocarpale. L'arteria contribuisce con un ramo (o più rami) all'arco palmare radiocarpale per irrorare la faccia ulnare del semilunare e del piramidale. Il ramo palmare termina anastomizzandosi con i vasi ricorrenti dall'arco palmare profondo [Gelberman RH et al. 1983].

Archi carpalì dorsali trasversi (vascolarizzazione dorsale carpale)

I tre archi dorsali trasversi sono formati dalle arterie radiale, ulnare, e interossea anteriore e consistono degli archi trasversi radiocarpale, intercarpale e metacarpale basale (Fig. 16 A, B) [Gelberman RH et al. 1983, Coleman SS et al. 1961]. Questi archi fornire la vascolarizzazione al dorso del carpo. I vasi, di presenza variabile, sono di circa 1 mm di diametro, con rami generalmente inferiori ad 1 mm. L'arco dorsale radiocarpale, il più prossimale degli archi trasversi dorsali, si trova circa al livello dell'articolazione radiocarpale (Fig. 16 A, C). Presente in circa l'80% dei campioni da cadavere, si trova in profondità sotto i tendini estensori e fornisce i vasi principali che nutrono il semilunare e piramidale. I rami delle arterie radiale e ulnare e il ramo dorsale dell'arteria interossea anteriore di solito alimentano l'arco dorsale radiocarpale. Occasionalmente, l'arco radiocarpale è alimentato solo dalle arterie radiale e ulnare o solo dalle arterie radiale e interossea anteriore [Gelberman RH et al. 1983]. L'arco dorsale intercarpale è il più grande degli archi dorsali trasversi ed è più stabilmente presente (Fig. 16 A, C). Passa trasversalmente attraverso il carpo dorsale a livello tra le filiere prossimale e distale del carpo o attraverso il trapezoide ed il capitato. L'arco dorsale intercarpale alimenta la filiera distale del carpo e si anastomizza con l'arco radiocarpale per irrorare il semilunare ed il piramidale. Esso è formato con contributi variabili dalle arterie radiale, ulnare ed interossea anteriore. E 'alimentato da tutte e tre le arterie nel 53% dei campioni da cadaveri, ma solo dalle arterie radiale e ulnare nel 20%, e dalle arterie ulnare ed interossea anteriore nel 7% [Gelberman RH et al. 1983]. L'arco basale metacarpale è il più piccolo ed il più variabile degli archi trasversi dorsali (Fig. 16 A). Situato distalmente, circa al livello delle basi metacarpali, è composto da una serie di reti vascolari piuttosto che da una singola arteria. L'arco è formato da arterie che perforano il secondo, terzo, e quarto spazio interosseo. E 'completo nel 27% dei campioni da cadavere, assente nel 27%, e presente solo sulla faccia radiale nel 46% [Gelberman RH et al. 1983].

L'arco basale metacarpale contribuisce alla vascolarizzazione della filiera distale del carpo attraverso i rami che si interconnettono con l'arco intercarpale. [Gelberman RH et al. 1983]. Gli archi trasversi dorsali sono interconnessi in senso longitudinale alle loro facce radiale e ulnare rispettivamente dalle arterie radiale e ulnare. Essi sono collegati centralmente dal ramo dorsale dell'arteria interossea anteriore.

Archi trasversi carpali palmari (vascolarità carpale palmare)

Gli archi trasversi palmari carpali sono formati principalmente dalle arterie radiale e ulnare e dal ramo palmare dell'arteria interossea anteriore. Questi archi palmari sono composti dagli archi palmare radiocarpale, palmare intercarpale ed il palmare profondo. Gli archi alimentano la faccia palmare del carpo (Fig. 16 B) [Gelberman RH et al. 1983, Coleman SS et al. 1961]. L'arco palmare radiocarpale è il più prossimale degli archi palmari e attraversa la metafisi distale del radio e dell'ulna da 5 a 8 millimetri prossimale all'articolazione radiocarpale (Fig. 16 B). La sua presenza è costante, è formato da rami delle arterie radiale, interossea anteriore ed ulnare nell'87% dei campioni da cadavere. Nel 13% dei campioni, l'arco palmare radiocarpale è formato unicamente dalle arterie radiale e ulnare. L'arco palmare radiocarpale alimenta le superfici palmari del semilunare e del piramidale [Gelberman RH et al. 1983]. L'arco palmare intercarpale attraversa il polso palmare a livello tra le filiere prossimale e distale del carpo (Fig. 16 B). La presenza è molto variabile, si trova nel 53% dei campioni. È formata da rami delle arterie radiale, ulnare ed anteriore interossea nel 75% dei campioni e dalle sole arterie radiale ed ulnare nel 25%. Oltre a questo, l'arco è piccolo e non dà un contributo importante alla vascolarizzazione del carpo [Gelberman RH et al. 1983]. L'arco palmare profondo è il più distale degli archi palmari trasversi. Si trova a livello delle basi metacarpali, da 5 a 10 millimetri distale dalle articolazioni palmari carpometacarpali (Fig. 16 B). L'arco profondo palmare è normalmente presente, formato dall'arteria radiale e anastomizzato con l'arteria ulnare. L'arco palmare profondo contribuisce alle arterie ricorrenti radiale ed ulnare e invia rami che perforano il dorso dell'arco basale metacarpale e alle arterie palmari metacarpali [Gelberman RH et al. 1983]. I tre archi palmari sono interconnessi longitudinalmente alle arterie radiale ed ulnare, al ramo palmare dell'arteria interossea anteriore ed alle arterie ricorrenti radiale e ulnare (Fig. 16 A-C). Le ossa carpali irrorate dalle diverse arterie ed archi sono riassunti in Fig. 17 A e B.

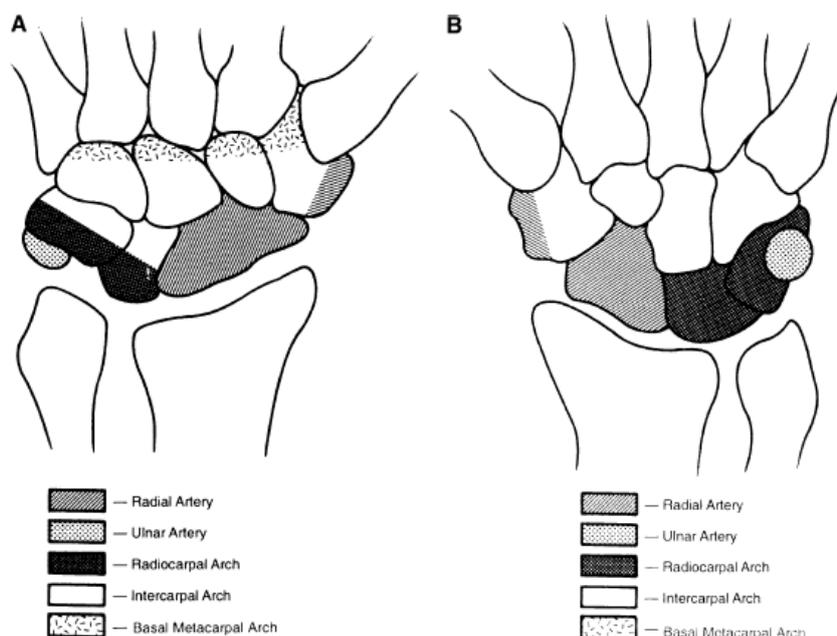


Fig. 17. (A) Il dorso del polso, mettendo in evidenza i contributi delle arterie alla vascolarizzazione del carpo. Lo scafoide viene alimentato principalmente dall'arteria radiale. (B) La faccia palmare del polso, mettendo in evidenza i contributi delle arterie alla vascolarizzazione del carpo. Lo scafoide viene alimentato principalmente dall'arteria radiale. [Gelberman RH, Panagis JS, Taleisnik J, Baumgaertner M. *The arterial anatomy of the human carpus. Part 1: The extraosseus vascularity.* *J Hand Surg (Am)* 1983].

Le ossa del carpo

Sono oggetto di studi puntuali per il semilunare e lo scafoide, o di studi sistematici completi [Longia GS et al, 1980, Crack HV et al, 1980, Gelberman RH et al, 1983, Minne J et al, 1973, Panagis JS et al, 1983].

1. Lo scafoide [Zancolli EA et al, 1992, Crock HV. 1996, Kuhlmann JN et al, 1981, Lécluse P. 1973, Taleisnick J et al, 1966]

Si possono distinguere tre gruppi di peduncoli arteriosi, tutti nati dall'arteria radiale:

- Il gruppo dorsale è derivato dal segmento posteriore dell'arteria radiale o dell'arcata dorsale del carpo; è formato dai numerosissimi vasi di mezzo calibro che si innestano su tutta l'estensione della doccia posteriore dello scafoide, al livello del suo restringimento; per Zancolli e Cozzi [Zancolli EA et al, 1992], l'arteria dorsale dello scafoide è il vaso più grosso; per Gelberman e Menon [Gelberman RH et al, 1980], questa arteria assicura da sola dal 70% all'80% della vascolarizzazione dello scafoide e particolarmente quella della totalità del polo prossimale;

- Il gruppo distale è derivato dall'arteria radiale, dal suo ramo superficiale e in via accessoria dalla parte laterale dell'arcata palmare profonda; questi vasi sono due volte meno numerosi, ma sono più voluminosi e disseminati sulla faccia anteriore dello scafoide, particolarmente sul tubercolo; per Gelberman e Menon [*Gelberman RH et al, 1980*], assicura dal 20% al 30 % della vascolarizzazione dello scafoide;
- Il gruppo laterale è derivato dall'arteria radiale, dal suo ramo superficiale (quando nasce al di sopra dell'interlinea radiocarpica), e dell'arcata trasversale anteriore del carpo; questi vasi sono egualmente due volte meno numerosi che sulla faccia posteriore dell'osso; sono di calibro più importante e, soprattutto, si distribuiscono abitualmente sulla metà inferiore della faccia laterale, cioè al piede della superficie articolare per il radio.

Per Gelberman e Menon [*Gelberman RH et al, 1980*], lo scafoide è contornato da una importante circolazione collaterale alimentata dalle arterie interossee anteriore e posteriore.

Affianco allo studio di Fontaine del 2011, uno studio più approfondito di Botte del 2008 sulla vascolarizzazione intraossea dello scafoide.

Vascolarità intraossea dello scafoide

Nel 1938, studi di Oblatz [*Oblatz BE et al. 1938*] sul forame vascolare dello scafoide suggerirono che la porzione prossimale dello scafoide aveva un limitato flusso sanguigno. In 297 scafoidi esaminati, il 13% non aveva forami arteriosi prossimali fino alla parte mediana, il 20% aveva solo un piccolo foro prossimale ed il 67% aveva due o più forami prossimali. In circa un terzo delle fratture della parte mediana ci potrebbe essere potenzialmente una diminuzione del flusso al polo prossimale con possibile necrosi ossea. Nel 1966, Taleisnik e Kelly [*Taleisnik J et al. 1966*] hanno riportato i risultati di iniezione vascolare e Spalteholz studi di dissezione in arti cadavere fresco in cui i piccoli vasi del polso erano stati asportati manualmente. Hanno trovato tre sistemi extraossei di piccole arterie che si inserivano nello scafoide dall'arteria radiale. Tra questi vasi dorsali, che entravano lungo la stretta cresta dorsale, vasi distali, che entravano nella tuberosità distale, ed un gruppo di vasi laterovolari. I vasi laterovolari sono stati considerati la fonte più importante di perfusione intraossea e, in combinazione con i vasi dorsali, sono stati ritenuti responsabili della perfusione dei due terzi prossimali dell'osso. È stato osservato che i vasi distali alimentavano solamente la regione della tuberosità. Studi più recenti di Gelberman e colleghi [*Gelberman RH et al. 1980, Gelberman RH et al. 1986, Gelberman RH et al. 1983, Gelberman RH et al. 1980, Panagis JS et al. 1983*] utilizzando nondissection e sbrigliamento con ipoclorito di sodio hanno fornito

dati più dettagliati sulla vascolarizzazione carpale. La vascolarizzazione extraossea dell'intero carpo consiste di una serie di archi trasversi dorsali e palmari collegati da rami comunicanti formati dalle arterie interossee radiale, ulnare e anteriore (vedi fig. 16 A-C) [Gelberman RH et al. 1983]. Lo scafoide viene principalmente alimentato di sangue dall'arteria radiale. Solo due leashes vascolari diretti sono stati osservati entrare nello scafoide: uno che penetra lo scafoide attraverso il forame lungo la sua cresta dorsale, ed uno che penetra attraverso la sua faccia palmare nella regione della tuberosità. A livello dell'articolazione intercarpale, l'arteria radiale emette l'arteria intercarpale, che si divide immediatamente in due rami. Un ramo corre trasversale al dorso del polso. L'altro ramo scorre verticalmente e distalmente rispetto all'indice metacarpale. Circa 5 millimetri prossimale all'origine del vaso intercarpale a livello del processo stiloide del radio, si origina un altro vaso che scorre sul legamento radiocarpale entrando nello scafoide attraverso la sua parte centrale lungo la cresta dorsale. Nel 70% dei campioni, il vaso dorsale deriva direttamente dalla arteria radiale. Nel 23%, il ramo dorsale ha la sua origine dal tronco comune dell'arteria intercarpale. Nel 7%, lo scafoide riceve l'alimentazione di sangue dorsale direttamente dai rami sia dell'arteria intercarpale che dell'arteria radiale. Ci sono più comunicazioni rilevanti tra il ramo scafoide dorsale dell'arteria radiale ed il ramo dorsale dell'arteria interossea anteriore di ciascun campione. Nessun vaso entra nella regione dorsale prossimale dello scafoide attraverso il legamento scafoide / semilunare dorsale, e nessun vaso entra attraverso le aree cartilaginee dorsali. L'arteria interossea anteriore sembra aumentare l'apporto di sangue dello scafoide attraverso la sua comunicazione con entrambi i rami dorsale e palmare dell'arteria radiale dello scafoide [Gelberman RH et al. 1983]. I vasi che entrano nella cresta dorsale dello scafoide forniscono dal 70% all'80% della vascolarizzazione interna dell'osso, tutti nella regione prossimale (Fig. 18 e 19) [Gelberman RH et al. 1980]. La cresta dorsale è orientata obliquamente nella regione centrale dello scafoide, situata tra le superfici articolari del radio e del trapezio e trapezoide. I vasi principali dorsali di solito entrano nello scafoide attraverso un piccolo forame lungo la cresta dorsale [Gelberman RH et al. 1980], anche se in pochi campioni i vasi entrano solo prossimali o distali fino alla parte centrale. I vasi dorsali di solito si dividono in due o tre rami subito dopo l'ingresso nello scafoide. Questi rami corrono palmari e prossimali, dividendosi in rami più piccoli per alimentare il polo prossimale fino alla regione subcondrale. I vasi palmari alimentano dal 20% al 30% della vascolarizzazione interna, tutti nella regione del polo distale (Fig. 18 e 19) [Gelberman RH et al. 1980].

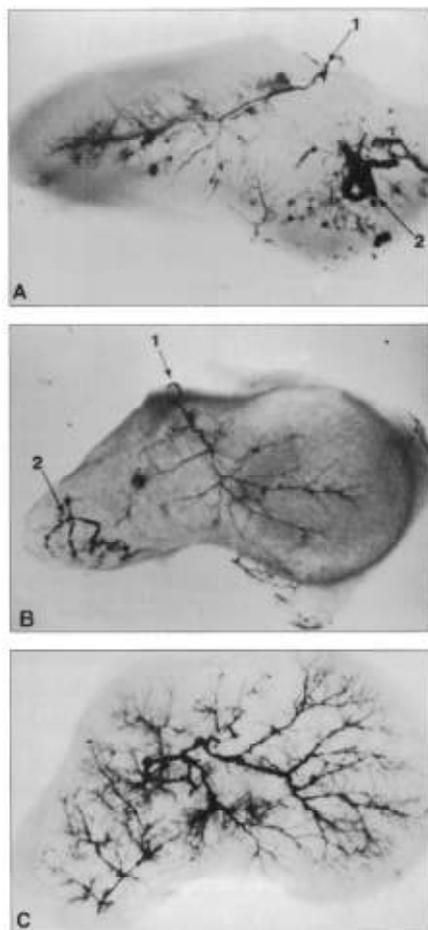


Fig. 18. Campioni di scafoide da cadavere iniettati di mezzo di contrasto per evidenziare i vasi della cresta dorsale [1] che entrano nella zona mediana dello scafoide e continuano in senso retrograde fino a raggiungere il polo prossimale. I vasi che entrano dalla faccia palmare della tuberosità dello scafoide [2] irrorano il polo distale. (A) Il polo prossimale è sul lato sinistro della fotografia. (B) Il polo prossimale è sulla destra della fotografia. (C) Il polo prossimale è sulla destra della fotografia. 1, vasi della cresta dorsale; 2, vasi che entrano nella tuberosità dello scafoide. [A e B da Gelberman RH, Menon J. *The vascularity of the scaphoid bone. J Hand Surg* 1980. C da Gelberman RH, Gross MS. *The vascularity of the wrist: identification of arterial patterns at risk. Clin Orthop* 1986].



Fig. 19. Dal 70% all'80% della parte prossimale dello scafoide è irrorata da vasi dorsali (aree ombreggiate). Dal 20% al 30% della parte distale è irrorata da rami volari dell'arteria radiale. [Gelberman RH, Menon J. *The vascularity of the scaphoid bone. J Hand Surg* 1980].

A livello dell'articolazione radioscafoidea, l'arteria radiale emette il ramo superficiale palmare. Appena distalmente dall'origine del ramo palmare superficiale, molti rami più piccoli corrono obliquamente e distalmente sulla faccia palmare dello scafoide entrando attraverso la regione del tubercolo [Gelberman RH et al. 1980, Grettve S et al. 1955]. I rami palmari scafoidei si dividono in diversi rami più piccoli poco prima di penetrare nell'osso. Nel 75% dei campioni, queste arterie derivano direttamente dall'arteria radiale [Gelberman RH et al. 1980]. Nel 25% derivano dal ramo palmare superficiale dell'arteria radiale. Esistono consistenti anastomosi tra la divisione palmare dell'arteria interossea anteriore ed il ramo palmare scafoideo dell'arteria radiale quando quest'ultimo deriva dal ramo palmare superficiale dell'arteria radiale. Non ci sono apparenti rami comunicanti tra l'arteria ulnare ed i rami palmari dell'arteria radiale che alimentano lo scafoide. I vasi del legamento scafoide / semilunare palmare non penetrano nello scafoide. Non ci sono apparenti anastomosi tra i vasi palmari e dorsali [Gelberman RH et al. 1980]. Quando i risultati di questi studi più recenti sono confrontati con quelli di Taleisnik e Kelly [Taleisnik J et al. 1966], si può concludere che i vasi laterovolari che sono state descritti da Taleisnik e Kelly sono probabilmente analoghi ai vasi della cresta dorsale descritti da Gelberman [Gelberman RH et al. 1986, Gelberman RH et al. 1980] e che i vasi distali notati in precedenza corrispondono ai vasi della tuberosità che sono stati descritti più recentemente.

Anatomia vascolare del semilunare

Vascularità intraossea

Il semilunare riceve il suo apporto di sangue dai vasi palmare e dorsale o solo dal lato palmare [Gelberman RH et al. 1980, Gelberman RH et al. 1986]. Nell'80% dei campioni, il semilunare è alimentato dai vasi sia dalla superficie palmare che dorsale. Nel 20% dei campioni è irrorato solo da vasi che provengono dalla superficie palmare. Oltre a queste relativamente piccole superfici dorsale e palmare, il semilunare è coperto da cartilagine articolare, e quindi nessun altro vaso entra nell'osso. I vasi che entrano nella superficie dorsale provengono da rami dall'arco dorsale radiocarpale, dall'arco dorsale intercarpale, e occasionalmente da rami più piccoli del ramo dorsale dell'arteria interossea anteriore [Gelberman RH et al. 1980, Gelberman RH et al. 1986, Gelberman RH et al. 1983]. Sul lato palmare, i vasi che nutrono il semilunare sono forniti dall'arco palmare intercarpale, dall'arco palmare radiocarpale, ed i rami comunicanti dall'arteria interossea anteriore e dall'arteria ulnare ricorrente. I vasi che entrano dorsalmente sono leggermente più piccoli di quelli che entrano dal lato palmare. I vasi principali si ramificano prossimalmente e distalmente dopo

essere entrati nell'osso e terminano nell'osso subcondrale. I vasi dorsale e palmare si anastomizzano all'interno dell'osso appena distalmente alla porzione mediana del semilunare. Il polo prossimale è relativamente meno vascolarizzato. Ci sono tre modelli principali di vascolarizzazione intraossea (Fig. 20) [Gelberman RH et al. 1980, Gelberman RH et al. 1986, Gelberman RH et al. 1983, Panagis JS et al. 1983]. Questi modelli hanno la forma delle lettere Y, I, o X. Il modello a forma di Y è il più comune e si trova nel 59% dei campioni studiati. Lo stelo della Y si trova con la stessa frequenza dorsalmente o palmarmente. Il modello a forma di I si trova circa nel 30% dei campioni e consiste di un singolo vaso dorsale e un singolo vaso palmare che si anastomizzano in linea retta. Il modello a forma di X, che si verifica nel 10% dei campioni, consiste di due vasi dorsali e due palmari che si anastomizzano al centro del semilunare, formando così la X [Gelberman RH et al. 1980, Gelberman RH et al. 1986, Gelberman RH et al. 1983]. Nel 20% dei campioni studiati era presente un unico vaso palmare. Questo modello consisteva in un unico grande vaso che entra sulla superficie palmare e si ramifica all'interno del semilunare per fornire l'unico apporto di sangue [Gelberman RH et al. 1980, Gelberman RH et al. 1986]. A causa del relativamente limitato apporto di sangue al semilunare, Gelberman e Gross [Gelberman RH et al. 1986] hanno incluso il semilunare come una delle ossa del carpo vulnerabili per la necrosi a vascolare post-traumatica. (Altre ossa carpali a rischio sono lo scafoide ed il capitato). Questi risultati anatomici sono correlati al relativamente alto verificarsi di disturbi avascolari del semilunare (es. malattia Kienbock) rispetto alla maggior parte delle altre ossa del carpo.

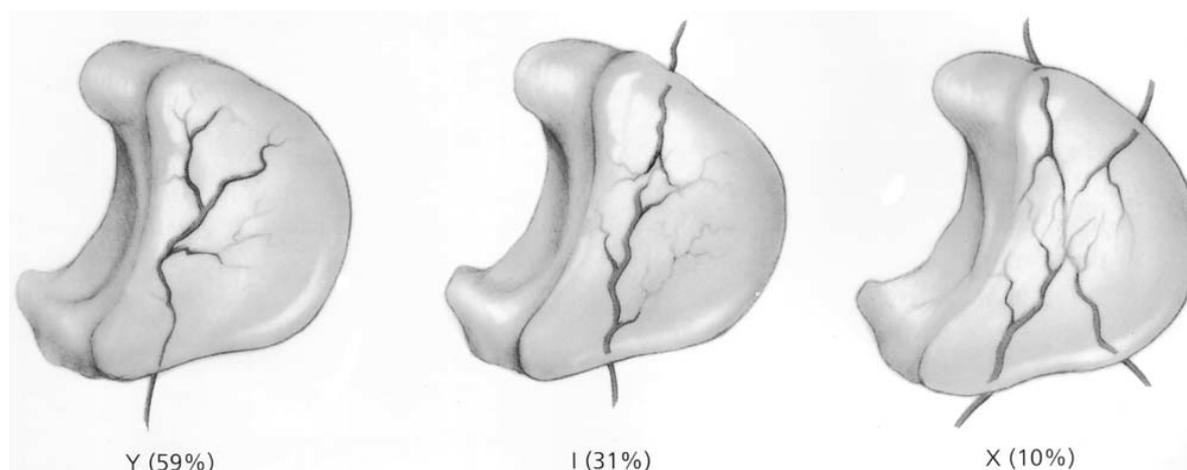


Fig. 20. I tre principali modelli vascolari del semilunare, come descritto da Gelberman et al: il modello Y visto nel 59% dei campioni, il modello I visto nel 31%, ed il modello X visto nel 10%. (da Botte MJ. Skeletal anatomy. In: Doyle JR, Botte MJ, editori. [Surgical anatomy of the hand and upper extremity. Philadelphia: Lippincott Williams e Wilkins; 2003. p. 51. Illustrazione in base ai risultati riportati da Gelberman RH, Bauman TD, Menon J, Akeson WA. The vascularity of the lunate bone and Kienbock's disease. J Hand Surg 1980].

Anatomia vascolare del capitato

Vascolarità intraossea

Il capitato riceve la sua vascolarizzazione sia da fonte dorsale che palmare. La vascolarizzazione principale proviene da vasi dagli archi dorsale intercarpale e dorsale basale metacarpale, e da significative anastomosi tra gli archi ricorrente ulnare e palmare intercarpale. I vasi che entrano nel capitato penetrano le due superfici non articolari sulle facce dorsale e palmare. La superficie dorsale del capitato è ruvida, permettendo gli attacchi dei legamenti dorsali del carpo. La superficie dorsale è larga, relativamente ampia, e contiene una porzione profondamente concava. Da due a quattro vasi si inseriscono nei due terzi distali della concavità dorsale. Vasi più piccoli entrano occasionalmente più prossimalmente, vicino al collo. I vasi dorsali corrono palmarmente, prossimalmente ed ulnarmente in senso retrogrado per alimentare il corpo e la testa del capitato. Questa alimentazione dorsale continua palmarmente e prossimalmente fino a raggiungere la prossimità della convessa e ruvida superficie palmare. I vasi terminali raggiungono la testa prossimale palmare e terminano appena in profondità della superficie articolare [Gelberman RH et al. 1983, Panagis JS et al. 1983]. Il contributo vascolare palmare è dato da uno a tre vasi. Questi vasi si inseriscono sulla superficie palmare nella metà distale del capitato e corrono prossimalmente in senso retrogrado. Nel 33% dei campioni studiati, la vascolarizzazione della testa del capitato proviene interamente dalla superficie palmare. Ci sono notevoli anastomosi tra i vasi dorsali e palmari nel 30% dei campioni [Gelberman RH et al. 1983, Panagis JS et al. 1983].

Anatomia vascolare dell'uncinato

Vascolarità intraossea

La vascolarizzazione dell'uncinato è alimentata da tre fonti principali: l'arco dorsale intercarpale, l'arteria ricorrente ulnare e l'arteria ulnare. I vasi entrano attraverso le tre superfici non articolate dell'uncinato, che comprendono la superficie dorsale, la superficie palmare e la superficie mediale attraverso il gancio dell'uncinato. Queste superfici non articolate dell'uncinato sono leggermente ruvide, permettendo l'attacco dei legamenti del carpo. La superficie dorsale è triangolare e riceve da tre a cinque vasi. Questi vasi si ramificano in diverse direzioni per alimentare dal 30% al 40% della parte dorsale dell'osso [Gelberman RH et al. 1983, Panagis JS et al. 1983]. Anche la superficie palmare è triangolare e riceve solitamente un grande vaso che entra attraverso la base radiale del gancio. Questo si ramifica e si anastomizza poi con i vasi dorsali nel 50% dei campioni studiati [Gelberman RH et al. 1983, Panagis JS et al. 1983]. Il gancio dell'uncinato riceve uno o due piccoli vasi che

entrano attraverso la base mediale e la punta del gancio. Questi vasi si anastomizzano tra loro, ma di solito non con i vasi del corpo del uncinato.

Anatomia vascolare piramidale

Vascolarità intraossea

Il piramidale riceve il suo apporto di sangue da rami dall'arteria ulnare, dall'arco dorsale intercarpale e dall'arco palmare intercarpale. Questi vasi entrano attraverso il suo arco intercarpale ed attraverso le sue due superfici non articolare, sulle facce dorsale e palmare. La superficie dorsale del piramidale è ruvida, permettendo l'attacco dei legamenti del carpo associati. Questa superficie dorsale contiene una cresta che corre dalla faccia mediale alla laterale. Da due a quattro vasi entrano in questa cresta dorsale e si irradiano in più direzioni per alimentare il 60% dell'osso dorsale. Questa rete rappresenta l'apporto predominante di sangue al piramidale, come indicato nel 60% dei campioni [Gelberman RH et al. 1983, Panagis JS et al. 1983]. La superficie palmare contiene una faccetta ovale che si articola con il pisiforme. Uno o due vasi entrano prossimalmente e distalmente alla faccetta. I vasi hanno anastomosi multiple tra loro ed alimentano il 40% dell'osso palmare. Questa rete vascolare palmare è predominante nel 20% dei campioni [Panagis JS et al. 1983]. Anastomosi significative tra le reti vascolari dorsale e palmare sono state viste nel 86% dei campioni studiati [Panagis JS et al. 1983].

Anatomia vascolare del pisiforme

Vascolarità intraossea

Il pisiforme riceve il suo apporto di sangue da rami dell'arteria ulnare attraverso i poli prossimale e distale. Il pisiforme è un osso sesamoide all'interno del tendine del flessore ulnare del carpo. Il tendine si inserisce al pisiforme prossimalmente, ed in questa zona entra la vascolarizzazione prossimale. Da uno a tre vasi penetrano inferiormente alla faccetta del piramidale. Questi vasi che entrano prossimalmente si dividono in più rami. Due rami superiori procedono paralleli sotto la superficie articolare della faccetta. Uno o due rami inferiori corrono lungo la corteccia palmare e si anastomizzano con i rami superiori [Panagis JS et al. 1983]. L'alimentazione vascolare distale comprende da uno a tre vasi che entrano inferiormente alle faccette articolari, dividendosi in rami superiore ed inferiore, e corrono paralleli alla corteccia palmare. Questi vasi che entrano distalmente si anastomizzano con i vasi prossimali. I vasi superiori fluiscono profondamente alla faccetta articolare e comunicano

con i vasi prossimali superiori, formando un anello arterioso profondo alla faccetta. Esistono anastomosi multiple tra le reti vascolari prossimale e distale.

Anatomia vascolare del trapezoide

Vascolarità intraossea

Il trapezoide è alimentato da rami degli archi dorsale, intercarpale e basale metacarpale, e dall'arteria radiale ricorrente. I vasi si inseriscono nel trapezoide attraverso le sue due superfici non articolari sulle superfici dorsale e palmare. Il trapezoide è alimentato di sangue principalmente dalla rete dorsale. La superficie dorsale è ampia e piatta; la superficie non articolare serve per il fissaggio dei legamenti del carpo. Tre o quattro piccoli vasi si inseriscono attraverso la superficie dorsale della faccia centrale della superficie ruvida. Dopo aver oltrepassato l'osso subcondrale, i vasi si ramificano per alimentare il 70% della parte dorsale dell'osso. Questi vasi dorsali rappresentano la vascolarizzazione primaria del trapezoide [Panagis JS et al. 1983]. Il flusso di sangue palmare fornisce la vascolarizzazione a circa il 30% del trapezoide. La superficie palmare è stretta, piatta e relativamente piccola, e contiene una piccola porzione non articolare dove si innestano i legamenti. In questa zona, uno o due piccoli vasi penetrano nella porzione centrale. Dopo l'inserimento nel trapezoide palmare, i vasi si ramificano molte volte per alimentare il 30% della parte palmare dell'osso. I vasi palmari non si anastomizzano con i vasi dorsali [Panagis JS et al. 1983].

Anatomia vascolare del trapezio

Vascolarità intraossea

La vascolarizzazione del trapezio proviene dai vasi dei rami distali dell'arteria radiale. I vasi si inseriscono nel trapezio attraverso le sue tre superfici non articolari. Queste superfici sono le facce dorsale e laterale, che sono ruvide e servono come siti per il fissaggio dei legamenti, ed il tubercolo palmare prominente dal quale nascono i muscoli del tenar. Dalla parte dorsale entrano da uno a tre vasi che si dividono nell'osso subcondrale per alimentare l'intera faccia dorsale dell'osso. Dalla parte palmare entrano da uno a tre vasi nella zona mediana che si dividono anastomizzandosi con i vasi che entrano attraverso la superficie dorsale. Dalla parte laterale entrano da tre a sei sottili vasi che penetrano attraverso la superficie laterale e si anastomizzano liberamente con i vasi dorsale e palmare. La vascolarizzazione dorsale è predominante. Ci sono frequenti anastomosi tra tutti e tre i sistemi [Panagis JS et al. 1983].

- Vascolarizzazione venosa delle ossa del carpo

E' meglio conosciuta per lo scafoide [*Handley RC et al, 1991*], il semilunare [*Crock HV. 1996*], il piramidale [*Crock HV. 1996*], il capitato, l'uncinato [*Crock HV. 1996*] che per le sue ossa lunghe.

- Ossa del carpo a rischio

Panagis e Gelberman [*Gelberman RH et al, 1983, Panagis JS et al, 1983*] hanno diviso le ossa del carpo in tre gruppi:

- il gruppo I comprende lo scafoide, il capitato e il 20% dei semilunari; queste ossa sono caratterizzate da ampie zone che dipendono da un unico peduncolo; sarebbero particolarmente esposti alla necrosi post traumatica;
- il gruppo II comprende il trapezoide e l'uncinato; queste ossa sono caratterizzate da due zone vascolare, poco o non anastomizzate; pur essendo teoricamente a rischio di necrosi, non ne sviluppano;
- il gruppo III comprende il trapezio, il pisiforme, e 80 % dei semilunari; queste ossa sono caratterizzate dalla diffusione degli apporti arteriosi e dalla ricchezza delle anastomosi intraossee.

Gelberman e Gross [*Gelberman RH et al, 1996*] hanno ripreso questa classifica modificando la proporzione dei semilunati: solo l'8% del tipo I a rischio, contro il 92% del tipo III.

Una variazione anatomica atipica dello schema vascolare palmare

Una complessa variazione nello schema di rifornimento sanguigno al palmo della mano fu riscontrato durante una dissezione di routine di un cadavere adulto femmina. Le scoperte furono: (a) non era presente nessuna comunicazione tra i due rami palmare e superficiale delle arterie radiale ed ulnare (incompleto arco palmare superficiale); (b) il ramo superficiale palmare dell'arteria radiale circolava superficialmente alla muscolatura tenar irrorando le due arterie digitali comuni palmari nei lati adiacenti del pollice e del dito indice; (c) il ramo che rifornisce la parte laterale del pollice fu visto originare dal ramo profondo dell'arteria radiale; (d) il ramo superficiale palmare dell'arteria ulnare alimentava un ramo al lato mediale del quinto dito, e due arterie comuni palmari digitali i lati adiacenti del quinto e quarto dito e quarto e terzo dito, rispettivamente. Familiarità con le variazioni negli schemi vascolari risultanti da un numero di errori inerenti allo sviluppo rimane il tema cruciale per il personale

impegno nella chirurgia ricostruttiva della mano, dove questi schemi variati agiscono come punti centrali nella realizzazione del miglioramento progressivo delle procedure chirurgiche.



Fig. 21. (a) L'immagine mostra il modello ramificato dello SPUA (1). Da notare il ramo che prosegue verso il lato mediale del mignolo (2). 3 & 4: rami palmari digitali di SPUA comuni; 5: ramo profondo dell'arteria ulnare. (b) Una fotografia ingrandita mostra due arterie digitali palmari comuni (1, 2) derivate dallo SPUA che forniscono gli adeguati rami digitali ai lati adiacenti del mignolo e dell'anulare (freccette) e, rispettivamente, ai lati adiacenti dell'anulare e del dito medio [Dhar P, Lall K., *An atypical anatomical variation of palmar vascular pattern.* 2008].

CASO CLINICO

Una variazione unilaterale nello schema dello SPA (arco palmare superficiale) fu notato durante una dissezione di routine della mano destra in un cadavere adulto di sesso femminile. Una dissezione elaborata effettuata nel palmo rilevò un'assenza di comunicazione tra lo SPRA (ramo superficiale palmare dell'arteria radiale) e lo SPUA (ramo superficiale palmare dell'arteria ulnare). Lo SPRA, giacendo laterale al tendine del flessore radiale del carpo, attraversava superficialmente i muscoli del tenar per raggiungere il palmo. Successivamente, le due arterie palmari comuni digitali originanti da esso riempivano i lati adiacenti del pollice e dito indice ed i lati adiacenti dell'indice e medio attraverso i rami propri digitali. Lo SPUA dopo la sua origine dalla principale arteria ulnare forniva un ramo al lato mediale del quinto

dito ad un livello più prossimale (Fig 21a) nonostante le comuni arterie palmari delle dita originanti dallo SPUA fornivano i lati adiacenti del quinto e quarto dito ed i lati adiacenti del quarto e terzo dito attraverso i propri rami digitali (Fig 21b).

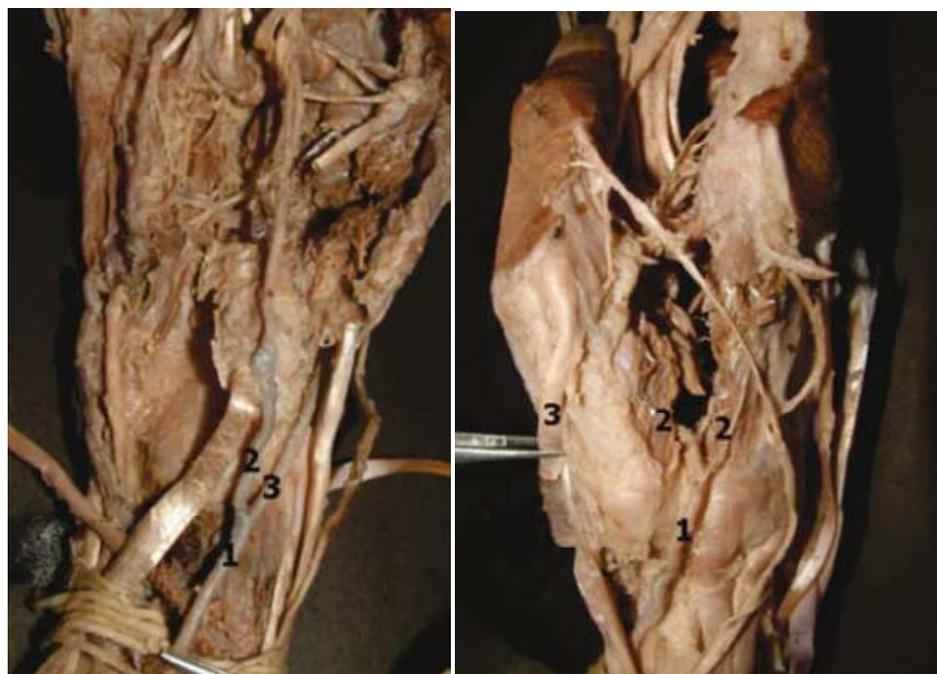


Fig. 22. (a) L'immagine mostra la divisione dell'arteria radiale (1) in SPRA (2) ed il suo proseguimento come tronco principale (ramo profondo 3). Lo SPRA passa superficialmente ai muscoli del tenar per raggiungere il palmo della mano mentre il tronco principale passa alla tabacchiera anatomica. (b) Una fotografia illustra il passaggio del proseguimento principale dell'arteria radiale (ramo profondo: 1) attraverso i due capi del primo muscolo dorsale interosseo (2) per entrare infine nel palmo della mano. 3: tendine dell'abduktore lungo del pollice [Dhar P, Lall K., *An atypical anatomical variation of palmar vascular pattern*. 2008].

Al polso lo SPRA fu visto originare tre centimetri prossimale al tubercolo del trapezio (Fig 22a); il principale tronco dell'arteria radiale (ramo profondo), dopo aver attraversato la tabacchiera anatomica, passava attraverso le due teste del primo dorsale interosseo per raggiungere l'entrata all'interno del palmo (Fig 22b). Nel palmo, il primo ramo originante da esso attraversava la parte laterale del pollice, mentre il principale prolungamento svolta in una direzione mediale e si anastomizza con il ramo profondo dell'arteria ulnare alla base del quinto osso metacarpale, in questo modo completando il DPA (arco palmare profondo) (Fig 23). La formazione dello SPA nella mano sinistra seguiva la convenzionale descrizione, essendo costituita dallo SPUA e dallo SPRA con opportune comunicazioni tra i due.



Fig. 23. L'immagine mostra la formazione del DPA con il contributo del proseguimento principale dell'arteria radiale (2) ed il ramo profondo dell'arteria ulnare (1) [Dhar P, Lall K., *An atypical anatomical variation of palmar vascular pattern*. 2008].

La normale vascolarizzazione di sangue arterioso nella mano umana è ben documentata [Agur AMR et al, 1999, Moore KL et al, 1999, Sinnatamby CS. 1999]. La variabilità nella circolazione della mano così come nelle dita

attraverso lo SPA è stata ben documentata [Gellman H et al, 2001, Al-Turk M et al, 1984, Ikeda A et al, 1988, Onderoglu Set al, 1997]. La classificazione dello SPA in una categoria completa o incompleta, basata sull'assenza o presenza di una comunicazione tra i due vasi contribuendo alla sua formazione, fu presentata dal 1897 [Jaschtschinski SN. 1897]. Questo sistema di classificazione rimane fedele ai dati in quanto fornisce la più semplice comprensione della distribuzione anatomica delle arterie. Tre tipi di SPA, ulnare (59%), radioulnare (32%) e medioulnare (9%), sulla base della nomenclatura che riflettono i vasi che partecipano alla sua formazione, è stato descritto nel 1928 [Adachi B et al. 1928]. Lo studio classico su modelli vascolari nella mano ha riferito sette tipi di ramificazione di SPA, indipendentemente dal suo essere completi (78,5%) o incompleti (21,5%) [Coleman SS et al, 1961]. Il tipo più predominante in questa serie (77,3%) era la presenza di quattro arterie comuni digitali: la prima fornisce sangue al lato ulnare del pollice ed al lato radiale del dito indice, mentre le rimanenti tre passano al secondo, terzo e quarto interspazio. È stato effettuato uno studio dettagliato dei modelli arteriosi in 200 mani conservate in formalina, e l'incidenza di SPA comunicato da tali ricercatori è stato del 10% incompleto e 90% completo [Loukas M et al, 2005]. In questo studio, il tipo predominante di SPA completo (40%) è stato fornito da rami palmari superficiali delle arterie radiale e ulnare, seguito dal tipo in cui lo SPA è formato interamente dall'arteria ulnare (35%). Questi ricercatori hanno anche riportato che il

tipo predominante di DPA è composto da anastomosi del ramo palmare profondo dell'arteria radiale e del ramo profondo inferiore dell'arteria ulnare (60%), seguito dal tipo II (30%) formato da anastomosi del ramo palmare profondo dell'arteria radiale e del ramo profondo superiore dell'arteria ulnare. Lo SPA è stato descritto essere del tipo completo o incompleto in base alla presenza o assenza di anastomosi fra i vasi che lo costituiscono [Gellman H et al, 2001]. Al fine di visualizzare il sistema arterioso della mano, questi ricercatori hanno iniettato Ward lattice rosso o un composto di Batson sotto pressione in 45 arti freschi. Secondo le loro osservazioni, lo SPA completo era presente nel 84,4% dei campioni, con il tipo predominante di SPA completo (35,5%) costituito da rami palmari superficiali delle arterie radiale e ulnare, seguita dal tipo di SPA interamente formato dall'arteria ulnare (31,1%). L'incidenza di SPA incompleto è stata riportata da questi ricercatori nel 15,5% dei campioni con il tipo predominante (11,1%) che comprende interamente l'arteria ulnare, ma senza alcun contributo del flusso arterioso al pollice ed all'indice, mentre il tipo più raro (4,4 %) comprende il ramo superficiale sia della arteria radiale che ulnare senza anastomosi tra loro. Da cadaveri freschi umani sono state prelevate 200 estremità superiori; successivamente stati iniettati di lattice colorato o di inchiostro India e gelatina [Gajisin S et al, 1993] e preparati per la dissezione microscopica.

Sulla base delle osservazioni di questo studio, i ricercatori hanno concluso che lo SPA è la struttura principale vascolare del palmo della mano che rifornisce i tendini flessori superficiali, il retinacolo dei flessori, i nervi mediano ed ulnare, il tendine del flessore lungo del pollice, i lombricali, l'aponeurosi palmare e la pelle del palmo della mano, svolgendo così un ruolo importante nel bilanciamento tra la notevole offerta e la domanda. Questi ricercatori hanno inoltre sottolineato l'importanza di tale tipo di dati per i chirurghi che effettuano interventi di chirurgia ricostruttiva della mano. Nel presente studio, SPA incompleti si sono verificati in uno dei 24 palmi (4,2%). L'incidenza di SPA incompleti riscontrati in questo studio è simile a quella riportata in precedenza [Gellman H et al, 2001]. Tuttavia, l'incidenza di apporto di sangue al lato mediale del pollice da rami palmari digitali di SPA era molto inferiore nel presente lavoro rispetto ad una incidenza precedentemente riportata del 20% [Standring Sunan et al, 2005]. Questa variazione può essere il risultato di una differenza di variabili nelle dimensioni del campione. Il flusso di sangue per il lato laterale del pollice è stato fornito da un ramo di divisione profonda dell'arteria radiale.

Alcuni studi radiografici dei modelli delle arterie negli arti dei neonati e dei feti a termine rivelano chiaramente la disposizione adulta delle arterie [Belou P. 1934]. Ciò indica che i fattori che partono dai modelli cosiddetti normali potrebbero essere attivi sia nella fase

embrionale che fetale. Dal punto di vista dello sviluppo, la gemma arto appare nella forma di piccole protuberanze lungo la parete del corpo ventrolaterale durante la quarta settimana [Moore KL et al, 1998], e acquista subito un primitivo plesso capillare in associazione con i rami di arterie intersegmentale derivanti dall'aorta. L'arteria succlavia ascellare (l'unica radice arteriosa dell'arto superiore) è identificabile in un embrione di 5 millimetri [Arey LB. 1966] dove si estende al polso dividendosi in rami terminali per le dita (Fig 24a). Il modello primitivo vascolare è costituito da una arteria assiale primaria (l'arteria brachiale del braccio e l'arteria interossea dell'avambraccio) con l'arteria mediana che si diparte dall'arteria brachiale, che a sua volta si connette ai vasi della mano e corrisponde alla fase II (Fig 24b).

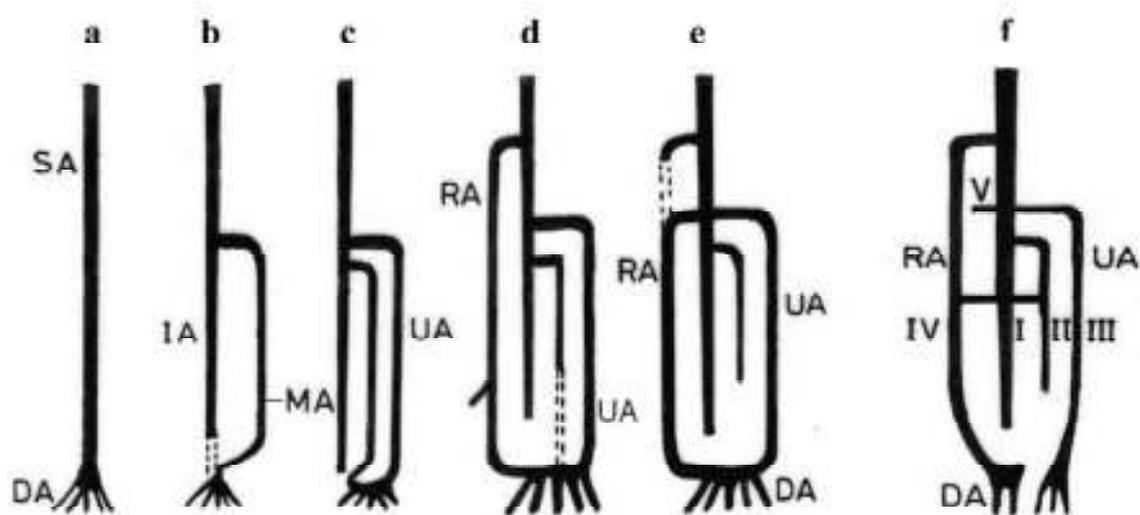


Fig. 24. Fasi nello sviluppo del modello arterioso dell'arto superiore. Diagrammi schematici mostrano (a) l'arteria succlavia ascellare (SA) che attraversa la gemma arto e si divide in arterie digitali (DA); (b) l'arteria primaria brachiale assiale (BA) nel braccio e l'arteria interossea (IA) nell'avambraccio. Da notare l'arteria mediana (MA) che deriva dall'arteria brachiale ed annette i rami digitali; (c) l'arteria ulnare (UA) che deriva dall'arteria brachiale e comunicante con l'arteria mediana; (d) l'arteria radiale (RA) che deriva dall'arteria brachiale e completa la formazione ad arco con l'arteria ulnare. (e) Il riarrangiamento finale dei vasi. (f) Il modello arterioso visto nel presente studio. Da notare l'assenza di comunicazione tra l'arteria radiale e l'arteria ulnare [Dhar P, Lall K., *An atypical anatomical variation of palmar vascular pattern.* 2008].

Nell'embrione di 18 millimetri l'arteria ulnare (uno dei vasi di spicco del dell'avambraccio), derivando dall'arteria brachiale, si unisce distalmente con l'arteria mediana per formare il modello arco (Fig 24c); questo modello corrisponde alla fase III [Singer E. 1933]. A seguito

di questa, l'arteria radiale (un altro vaso di spicco dell'avambraccio) nasce dall'arteria brachiale e finalmente prende il posto dei vasi della mano corrispondendo alla fase IV (Fig 24d). La riorganizzazione (fase V) raggiunge il completamento entro la fine dell'ottava settimana (Fig 24e) [Arey LB. 1966]. Durante questo periodo di sviluppo, arresti imprevisti, sviluppo incompleto o assorbimento di parti di vasi di solito distinti, potrebbero costituire la base di un risultato finale diverso da quello corrispondente alla fase di sviluppo e che rappresenta i modelli vascolari anomali individuati nella vita adulta. Lo SPA ha ricevuto considerevole attenzione negli ultimi tempi a causa della sua importanza nel contribuire alla vascolarizzazione della mano, uno degli strumenti più importanti del progresso evolutivo negli esseri umani. Il modello dello SPA nel presente studio è simile al tipo G descritto in precedenza [Gellman H et al, 2001], dove sia l'arteria radiale che l'ulnare contribuiscono all'arco palmare superficiale, ma senza anastomosi tra le due. Questo modello rende entrambe i vasi egualmente dominanti come componenti anatomici dello SPA. Le implicazioni di tali diversi modelli vascolari non possono essere sottovalutati tenendo presente come i vasi determinano il modello dominante della vascolarizzazione della mano [Sinnatamby CS. 1999]. Tutto questo riveste grande importanza soprattutto per i chirurghi che si occupano di procedure microchirurgiche innovative per la chirurgia ricostruttiva della mano. Con i drastici progressi nelle procedure interventistiche, la predisposizione dell'arteria radiale a traumi post-procedurali è aumentata successivamente al crescente utilizzo di procedure di incannulazione, come angiografia transradiale, angioplastica transradiale ed estrazione endoscopica dell'arteria radiale. Con il tipo di SPA incompleto incontrato nel presente studio (Fig 24f), la vascolarizzazione arteriosa mostra una maggiore vulnerabilità a seguito di traumi, aumentando così le probabilità di sviluppo di alterazioni ischemiche nella mano distale. Quindi è consigliato un esame preliminare dell'anatomia vascolare della mano prima di progettare una azione chirurgica, in quanto deviazioni dai normali modelli anatomici nei siti di chirurgia interventistica richiedono attenzione per la modifica di vari criteri adottati sia per la gestione che per ottenere un esito finale positivo.

Conclusione

La revisione di studi basati su moderne tecniche di imaging insieme agli studi di dissezioni di arti di cadaveri hanno portato il miglior contributo alla stesura del mio elaborato. Esiste una varianza di dati che emerge dai risultati sulle differenti forme di alcune ossa carpali come: variazioni ossee, legamenti che hanno differenti inserzioni, così pure superfici articolari differenti, inserzioni muscolari in punti diversi. Alcune possono interferire con la formazione di artrosi altre sono normali varianti che sembrano non disturbare la normale biomeccanica.

L'anatomia degli archi palmari vascolari e le loro variazioni, essendo una delle più impegnative aree anatomiche, ha a lungo impegnato clinici e radiologi. Inoltre sono state incorporate alle dissezioni le più sofisticate tecniche di imaging per capire questo complesso e fragile schema vascolare. La normale vascolarizzazione di sangue arterioso nella mano umana sembra ben documentata così come la variabilità nella circolazione della mano e nelle dita attraverso l'arteria superficiale palmare. Convenzionalmente, il ramo palmare superficiale dell'arteria ulnare, il ramo palmare superficiale dell'arteria radiale e l'arteria radiale, sono descritti come vasi che collaborano nella formazione dell'arco palmare superficiale con l'arteria ulnare come il principale vaso d'alimentazione. Il ramo palmare superficiale dell'arteria ulnare è la diretta continuazione dell'arteria ulnare e costituisce il principale contributo dell'arteria superficiale palmare. Le variazioni sono più comunemente incontrate con quest'ultima, con la più grande variazione nel lato radiale, mentre lo schema dell'arco palmare profondo rimane relativamente costante. Si sono quindi riscontrate SPA con descrizione convenzionale, essendo costituito da SPUA e SPRA con opportune comunicazioni tra le due e Spa con assenza di comunicazione tra SPRA e SPUA, da cui descritto come essere di tipo completo o incompleto in base alla presenza di anastomosi tra i vasi che lo costituiscono. Con questo tipo di SPA incomplete la vascolarizzazione comporta una maggiore vulnerabilità a seguito di traumi e pone alcune ossa del carpo: scafoide, semilunare e capitato a rischio di osteonecrosi clinica. L'osteonecrosi può portare al collasso delle ossa e ad artrosi secondaria.

Nelle prime fasi sono disponibili diverse opzioni di trattamento, come protezione, innesto, correzione biomeccanica o rivascolarizzazione. In fasi successive, se si sviluppa l'artrosi carpale, vengono utilizzate le procedure di salvataggio come artrodesi, resezione o artroplastica.

Bibliografia

Adachi B. [Das Arteriensystem der Japaner]. In: Anatomie der Japaner. Vol I. Kyoto: Verlag der Kaiserlich, 1928. German.

Agur AMR, Lee MJ. Grant's Atlas of Anatomy. 10th ed. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins, 1999: 484-5.

AI-Turk M, Metcalf WK. A study of the superficial palmar arteries using the Doppler Ultrasonic Flowmeter. J Anat 1984; 138(Pt 1): 27-32.

Arey LB. Arteries of the limbs. In: Developmental Anatomy. 1st ed. Philadelphia: WB Saunders, 1966: 358-9.

Bahri H, Bonnel F, Allieu Y, Rabischong P. Arterial vascularization of the trapeziometacarpal joint. Ann Chir Main 1982;1(2):151-4.

Belou P. [Atlas Estereoscopico de Anatomia de las Arterias]. Buenos Aires: El Ateneo, 1934. Spanish.

Berger RA, Imeada T, Berglund L, An KN. Constraint and material properties of the subregions of the scapholunate interosseous ligament. J Hand Surg 1999;24A:953-962.

Bishop AT, Pelzer M. Avascular necrosis. In: Berger RA, Weiss A-PC, editors. Hand surgery. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2004. p. 549- 75.

Bojsen-Moller F, Schmidt L. The palmar aponeurosis and the central spaces of the hand. J Anat 1974; 117:55-68.

Burgess RC. Anatomic variations of the midcarpal joint. J Hand Surg [Am]. 1990;15:129-31.

Carlson DH. Coalition of the carpal bones. Skeletal Radiol 1981;7:125-7.

Cockshott WP. Carpal fusions. Am J Roentgenol 1963;89:1260-71.

Coleman SS, Anson BJ. Arterial patterns in the hand based upon a study of 650 specimens. *Surg Gynecol Obstet* 1961; 113:409-24.

Collins ED, Gharbaoui I. Imaging and Anatomic Study of the Pisiform Bone/Ulnar Nerve Relationship—Evaluation of the Preferred Surgical Approach for the Excision of the Pisiform Bone. 2010.

Crack HV, Chari PR, Crock MC. La vascularisation des os du poignet et de la main chez l'homme. In: Tubiana R, editor. *Traité de chirurgie de la main*. Paris: Masson; 1980. p. 361–71.

Crock HV. In: *An atlas of vascular anatomy of the skeleton and spinal cord*. Chapter 7: upper limb bones. London: Martin Dunitz; 1996. p. 131–89.

Delaney TJ, Eswar S. Carpal coalitions. *J Hand Surg Am* 1992;17:28–31.

Ebner I, Hammer H. Patterns of the arterial vessels in the palm. *Acta Anat (Basel)* 1988;131(4):297–304.

Failla JM. Hook of the hamate vascularity: vulnerability to osteonecrosis and nonunion. *J Hand Surg [Am]* 1993;18(6):1075–9.

Gajisin S, Zbrodowski A. Local vascular contribution of the superficial palmar arch. *Acta Anat (Basel)* 1993; 147:248-51.

Gelberman RH, Bauman TD, Menon J, Akeson WH. The vascularity of the lunate bone and Kienböck's disease. *J Hand Surg* 1980;5A(3):272–8.

Gelberman RH, Gross MS. The vascularity of the wrist: identification of arterial patterns at risk. *Clin Orthop* 1986;202:40 – 9.

Gelberman RH, Menon J. The vascularity of the scaphoid bone. *J Hand Surg [Am]* 1980;5:508 – 13.

Gelberman RH, Panagis JS, Taleisnik J, Baumgaertner M. The arterial anatomy of the human carpus. Part I: The extraosseous vascularity. *J Hand Surg* 1983;8A(4):367–75.

Gelberman RHS, Taleisnik J, Baumgaertner M. The arterial anatomy of the human carpus. Part I: The extraosseous vascularity. *J Hand Surg* 1983;8A(4):367–75.

Gellman H, Botte MJ, Shankwiler J, Gelberman R. Arterial patterns of the deep and superficial palmar arches. *Clin Orthop Relat Res* 2001; 383:41-6.

Grettve S. Arterial anatomy of the carpal bones. *Acta Anat* 1955;25:331– 45.

Hagert E, Hagert CG. Understanding Stability of the Distal Radioulnar Joint Through an Understanding of Its Anatomy. 2010.

Handley RC, Pooley J. The venous anatomy of the scaphoid. *J Anat* 1991;178:115–8.

Hawkins-Rivers S, Budoff JE, Ismaily SK, Noble PC, Haddad J. MRI Study of the Capitate, Lunate, and Lunate Fossa With Relevance to Proximal Row Carpectomy. 2008

Huelin JM, Barreiro FJ, Barcia EC. Étude radio-anatomique des artères interosseuses. *Acta Anat (Basel)* 1978;102(2):147–56.

Ikeda A, Ugawa A, Kazihara Y, Hamada N. Arterial patterns in the hand based on a three dimensional analysis of 220 cadaver hands. *J Hand Surg Am* 1988; 13:501-9.

Jaschtschinski SN. [Morphologie und Topographie des Arcus volaris sublimis und profundus des Menschen]. *Anat Hefte* 1897; 7:161-88. German.

Johnstone DJ, Thorogood S, Smith WH, Scott TD. A comparison of magnetic resonance imaging and arthroscopy in the investigation of chronic wrist pain. *J Hand Surg [Br]*. 1997;22:714–8.

Katz DA, Green JK, Werner FW, Loftus JB. Capsuloligamentous restraints to dorsal and palmar carpal translation. *J Hand Surg* 2003;28A:610–613.

Kawamura K, Chung KC. Management of wrist injuries. *Plast Reconstr Surg* 2007;120:73e–89e.

Koken EW. Anatomical investigation of the blood supply of the lunate bone. *Z Orthop* 1975;113(6):1022–6.

Kuhlmann JN, Guérin-Surville H, Chrétien Y. Vascularization of the pyramidal and pisiform bones. *Bull Assoc Anat (Nancy)* 1982;66:79–88.

Kuhlmann JN, Guérin-Surville H. Extrinsic and intrinsic vascularization of the scaphoid and lunate bones. *Bull Assoc Anat (Nancy)* 1981;65:433–46.

Kuhlmann JN, Guérin-Surville H. Vascularization of the distal row of carpal bones. *Bull Assoc Anat (Nancy)* 1982;66:359–72.

Kuhlmann JN, Mimoun M, Boabighi A, Baux S. Vascularized bone graft pedicled on the volar carpal artery for non-union of the scaphoid. *J Hand Surg* 1987;12B(2):203–10.

Kuo CE, Wolfe SW. Scapholunate instability: current concepts in diagnosis and management. *J Hand Surg* 2008;33A:998–1013.

Lécluse P. Anatomie des pédicules artériels du massif carpien. Thèse de doctorat en médecine, Lille; 1973.

Logroscino D, De Marchi E. Vascularizzazione e trofopatie della ossa del carpo. *Chir Org Movimento* 1938;23:499–524.

Longia GS, Ajmani MI, Saxena SK, Thomas RJ. Study of diaphyseal nutrient foramina in human long bones. *Acta Anat (Basel)* 1980;107(4):399–406.

Loukas M, Holdman D, Holdman S. Anatomical variations of superficial and deep palmar arches. *Folia Morphol* 2005; 64:78-83.

Malik AM, Schweitzer ME, Culp RW, Osterman LA, Manton G. MR imaging of the type II lunate bone: frequency, extent, and associated findings. *AJR Am J Roentgenol*. 1999;173:335–8

Marburger R, Burgess RC. Symptomatic lunatetriquetral coalition. *J South Orthop Assoc* 1995;4: 307–10.

Mayfield JK, Johnson RP, Kilcoyne RF. The ligaments of the wrist and their functional significance. *Anat Rec* 1976;186:417– 428.

Mehta HJ, Gardner WU. A study of lumbrical muscles in the human hand. *Am J Anat* 1961;109: 227–38.

Mestdagh H, Bailleul JP, Chambon JP, Laraki A. The dorsal arterial network of the wrist with reference to the blood supply of the carpal bones. *Acta Morphol Neerl Scand* 1979;17(1):73–80.

Mestdagh H, Houcke M, Mairesse JL, Villette B, Depreux R. Vascular anatomy of the pisiformis bone. *Ann Chir Main* 1984;3:145–8.

Mestdagh H. Arcus carpeus palmaris; blood supply to the carpal bones. *Verh Anat Ges* 1977;71(1):745–52.

Metz VM, Schimmerl SM, Gilula LA, et al. Wide scapholunate joint space in lunotriquetral coalition: a normal variant? *Radiology* 1993;188:557–9.

Metz VM, Wunderbaldinger P, Gilula LA. Update on imaging techniques of the wrist and hand. *Clin Plast Surg*. 1996;23:369–84

Mikic' Z. The blood supply of the human distal radioulnar joint and the microvasculature of the articular disk. *Clin Orthop* 1992;275:19–28.

Minne J, Depreux R, Mestdagh H, Lecluse P. Arterial pedicles of ossa carpi. *Lille Med* 1973;18(10):1174–85.

Mitchell B, Rotman, James P, Donovan. Practical anatomy of the carpal tunnel. Department of Orthopedic Surgery, St. Louis University Medical Center. 2002.

Moore KL, Dalley AF. Clinically Oriented Anatomy. 4th ed. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins, 1999: 773-4.

Moore KL, Persaud TVN. Blood supply to the limbs. In: *Before We Are Born - The Limbs*. 5th ed. Philadelphia: WB Saunders, 1998: 415-6.

Morimoto H, Viegas SF, Nakamura K, DaSilva MF, Patterson RM. The scaphotrapezio-trapezoidal joint. Part 1: an anatomic and radiographic study. *J Hand Surg* 2000;25A:899–910.

Nagao S, Patterson RM, Buford WL Jr, Anderson CR, Shah MA, Viegas SF. Three-dimensional description of ligamentous attachments around the lunate. *J Hand Surg* 2005;30A:685–692.

Nakamura K, Patterson RM, Moritomo H, Viegas SF. Type I versus type II lunates: ligament anatomy and presence of arthrosis. *J Hand Surg* 2001;26A:428–436.

Nanno M, Buford WL Jr, Patterson RM, Andersen CR, Viegas SF. Three-dimensional analysis of the ligamentous attachments of the first carpometacarpal joint. *J Hand Surg* 2006;31A:1160–1170.

Nanno M, Buford WL Jr, Patterson RM, Andersen CR, Viegas SF. Three-dimensional analysis of the ligamentous attachments of the second through fifth carpometacarpal joints. *Clin Anat* 2007;20:530–544.

Obletz BE, Halbshtein BM. Nonunion of fractures of the carpal navicular. *J Bone Joint Surg [Am]* 1938;20: 424–8.

Onderoglu S, Basar R, Erbil KM, Cumhur M. Complex variation of the superficial palmar arch- case report. *Surg Radiol Anat* 1997; 19:123-5.

Panagis JS, Gelberman RH, Taleisnik J, Baumgaertner M. The arterial anatomy of the human carpus. Part II: The intraosseous vascularity. *J Hand Surg* 1983;8A(4):375–82.

Pessis E, Drape JL, Bach F, Feydy A, Guerini H, Chevrot A Direct arthrography of the pisotriquetral joint. *AJR Am J Roentgenol* 2006;186:800–4.

Pfirschmann CW, Theumann NH, Chung CB, Botte MJ, Trudell DJ, Resnick D. What happens to the triangular fibrocartilage complex during pronation and supination of the forearm? Analysis of its morphology and diagnostic assessment with MR arthrography. *Skeletal Radiol.* 2001;30:677–85.

Pfirschmann CW, Theumann NH, Chung CB, Trudell DJ, Resnick D. The hamatolunate facet: characterization and association with cartilage lesions—magnetic resonance arthrography and anatomic correlation in cadaveric wrists. *Skeletal Radiol.* 2002;31:451–6.

Pratt RK, Hoy GA, Bass Franzcr C. Extensor carpi ulnaris subluxation or dislocation? Ultrasound measurement of tendon excursion and normal values. *Hand Surg.* 2004;9:137–43.

Razemon JP, Mestdagh H. Vascularisation de l'os semi-lunaire. *Rev Chir Orthop* 1973;59(Suppl. 1):94–7.

Ritt MJ, Maas M, Bos KE. Minaar type 1 symptomatic lunotriquetral coalition: a report of nine patients. *J Hand Surg Am* 2001;26:261–70.

Roux JL. Trapezio-metacarpal arthroplasty by rotation transfer of the trapezio-metacarpal joint. Anatomical study and operative technique. *Chir Main* 2004;23(2):72–8.

Sagerman SD, Hauck RM, Palmer AK. Lunate morphology: can I be predicted with routine X-ray films? *J Hand Surg [Am]*.1995;20:38–41.

Sheetz KK, Bishop AT, Berger RA. The arterial blood supply of the distal radius and ulna and its potential use in vascularized pedicled bone grafts. *J Hand Surg* 1995;20A(6):902–14.

Shigematsu KOS, Takaoka T, Suzuki J, Okuda M. Distal radioulnar joint arthrography for detection of deep portion tears of the triangular fibrocartilage complex. *J Jpn Soc Surg Hand*. 2001;17:558–61

Short WH, Werner FW, Green JK, Masaoka S. Biomechanical evaluation of the ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate: part II. *J Hand Surg* 2005;30A:24–34.

Short WH, Werner FW, Green JK, Sutton LG, Brutus JP. Biomechanical evaluation of the ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate: part III. *J Hand Surg* 2007;32A:297–309.

Simmons BP, McKenzie WD. Symptomatic carpal coalition. *J Hand Surg Am* 1985;10:190–3.

Singer E. Embryological pattern persisting in the arteries of the arm. *Anat Rec* 1933; 55:403-9.

Sinnatamby CS. *Last's Anatomy. Regional and Applied*. 10th ed. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1999: 78-80.

Slutsky DJ. *Arthroscopic Evaluation of the Foveal Attachment of the Triangular Fibrocartilage*. 2011.

Smith DK, Snearly WN. Lunotriquetral interosseous ligament of the wrist: MR appearances in asymptomatic volunteers and arthrographically normal wrists. *Radiology*. 1994;191:199–202.

Standring Sunan, ed. *Vascular supply and lymphatic drainage*. In: *Gray's Anatomy -Wrist and Hand*. 39th ed. Edinburgh: Elsevier Churchill Livingstone, 2005: 925-33.

Sugimoto H, Shinozaki T, Ohsawa T. Triangular fibrocartilage in asymptomatic subjects: investigation of abnormal MR signal intensity. *Radiology*. 1994;191:193–7.

Taleisnick J, Kelly PJ. The extraosseous and intraosseous blood supply of the scaphoid bone. *J Bone Joint Surg* 1966;48A(6):1125–37.

Taleisnik J. The ligaments of the wrist. *J Hand Surg* 1976;1:110–118.

Tanaka T, Ogino S, Yoshioka H. Ligamentous injuries of the wrist. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2008;12:359–77.

Téot L, Gilbert A, Amichot G, Bernière J, Pous JG, Carlioz H. Epiphyseal vascularization during growth: the upper limb. *Ann Chir Main* 1984;3(3):237–44.

Theumann NH, Pfirrmann CW, Chung CB, Antonio GE, Trudell DJ, Resnick D. pisotriquetral joint: assessment with MR imaging and MR arthrography. *Radiology.* 2002;222:763–70.

Thiru RG, Ferlic DC, Clayton ML, McClure DC. Arterial anatomy of the triangular fibrocartilage of the wrist and its surgical significance. *J Hand Surg [Am].* 1986;11:258–63.

Trail AI, Stanley JK, Hayton MJ. Twenty questions on carpal instability. *J Hand Surg* 2007;32E:240–255.

Van Demark RE, Parke WW. Avascular necrosis of the hamate: a case report with reference to the hamate blood supply. *J Hand Surg [Am]* 1992;17(6):1086–90.

van Schoonhoven J, Prommersberger KJ, Schmitt R. Traumatic disruption of a fibrocartilage lunatetriquetral coalition—a case report and review of the literature. *Hand Surg* 2001;6:103–8.

Vandergrend R, Dell PC, Glowczewskie F, Leslie B, Ruby LK. Intraosseous blood supply of the capitate and its correlation with aseptic necrosis. *J Hand Surg* 1984;9A(5):677–83.

Viegas SF, Patterson RM, Hokanson JA, Davis J. Wrist anatomy: incidence, distribution, and correlation of anatomic variations tears, and arthrosis. *J Hand Surg [Am].* 1993;18:463–75

Viegas SF, Wagner K, Patterson R, et al. Medial (hamate) facet of the lunate. *J Hand Surg Am* 1990;15:564–71.

Viegas SF, Yamaguchi S, Boyd NI, Patterson RM. The dorsal ligaments of the wrist: anatomy, mechanical properties, and function. *J Hand Surg* 1999;24A:456–468.

Waitayawinyu T, Robertson C, Chin SH, Schlenker JD, Pettrone S, Trumble TE. The detailed anatomy of the 1,2 intercompartmental supraretinacular artery for vascularized bone grafting of scaphoid nonunions. *J Hand Surg* 2008;33A(2):168–73.

Weiss AP, Weiland AJ, Moore JR, Wilgis EF. Radial shortening for Kienbock's disease. *J Bone Joint Surg [Am]* 1991;73:384–91.

Wheless CR III. *Wheless' textbook of orthopedics*. Available at: <http://www.whelessonline.com>. Accessed September 30, 2010.

Williams CS, Gelberman RH. Vascularity of the lunate. Anatomic studies and implications for the development of osteonecrosis. *Hand Clin* 1993;9(3):391–8.

Yazaki N, Burns ST, Morris RP, et al. Variations of capitate morphology in the wrist. *J Hand Surg Am* 2008;33:660–6.

Yoshioka H, Tanaka T, Ueno T, Carrino JA, Winalski CS, Aliabadi P, et al. Study of ulnar variance with high-resolution MRI: correlation with triangular fibrocartilage complex and cartilage of ulnar side of wrist. *J Magn Reson Imaging*. 2007;26:714–9.

Yoshioka H, Tanaka T, Ueno T, Shindo M, Carrino JA, Lang P, et al. High-resolution MR imaging of the proximal zone of the lunotriquetral ligament with a microscopy coil. *Skeletal Radiol*. 2006;35:288–94.

Zaidenberg C, Siebert JW, Angrigiani C. A new vascularized bone graft for scaphoid nonunion. *J Hand Surg* 1991;16A(3):474–8.

Zancolli EA, Cozzi EP. Atlas of surgical anatomy of the hand. New York Edinburgh London Melbourne Tokyo: Churchill-Livingstone; 1992.

Zeiss J, Jakab E, Khimji T, Imbriglia J. The ulnar tunnel at the wrist (Guyon's canal): normal MR anatomy and variants. AJR Am J Roentgenol. 1992;158:1081-5.

Zlatkin MB, Chao PC, Osterman AL, Schnall MD, Dalinka MK, Kressel HY. Chronic wrist pain: evaluation with high-resolution MR imaging. Radiology. 1989;173:723-9.

Zlatkin MB, Rosner J. MR Imaging of Ligaments and Triangular Fibrocartilage Complex of the Wrist. 2006.