

Anatomia e biomeccanica dello scafoide

U. Passaretti, G. de Rosa, S. Russo, S. Montagnani.

Lo scafoide è un osso della filiera prossimale del carpo insieme al semilunare ed al piramidale, in quanto il pisiforme viene considerato un sesamoide del flessore ulnare del carpo (6). E' un piccolo osso tubulare, attorcigliato e piegato a forma di "S", interposto tra la faccetta articolare carpale del radio e lo zoccolo trapezio-trapezoidale, la cui forma leggermente allungata ne ha determinato il nome "a forma di barca". E' lungo circa 30mm. ed è caratterizzato da una grossa componente cartilaginea che occupa l'80% della sua superficie, mentre le superfici non articolari sono ridotte a sottili margini (volare e dorsale) che convergono a costituire il "tubercolo", che fornisce l'inserzione al legamento collaterale radiale dell'articolazione radio-carpica (12) (Fig.1 A-B).

In relazione alla sua origine da due distinti nuclei di ossificazione, uno prossimale ed uno distale, uniti da un corpo o istmo è possibile individuare tre porzioni articolari:

- prossimale: molto convessa, articolata con il radio prossimalmente e con il semilunare distalmente.
- mediale: divisa da una piccola cresta smussa in una faccetta per il semilunare ed una molto incavata per il capitato.

- distale: anch'essa molto convessa che si articola con il trapezio ed il trapezoide.

Le tre facce non articolari dello scafoide sono distinte in:

- laterale: costituita dal tubercolo.
- posteriore: molto stretta ed obliqua verso il basso e lateralmente.
- anteriore: che va allargandosi verso il basso in corrispondenza del tubercolo (5-12-16).

Appare chiaro, quindi, come una delle caratteristiche principali dello scafoide sia quella di avere un gran numero di connessioni articolari: cinque sono le ossa con cui

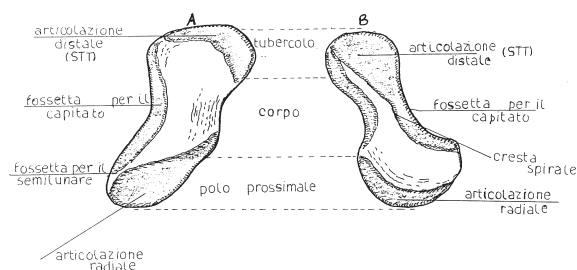


Figura 1. A) *visione volare: si apprezza distalmente il tubercolo che attraverso l'istmo del corpo si continua nel polo prossimale che presenta una vasta porzione articolare per il radio e medialmente una fossa articolare concava per il capitato; B) visione dorsale: la cresta spirale separa le facce articolari distale e prossimale. La capsula articolare dorsale trova inserzione lungo la cresta spirale rappresentando anche la maggiore fonte di apporto ematico.*

prende rapporto (radio, semilunare, capitato, trapezio e trapezoide), ed un gran numero di connessioni capsulari e legamentose (inserite sulle tre facce non articolari), mentre un solo muscolo vi trova inserzione, l'abduuttore breve del pollice.

VASCOLARIZZAZIONE

Nello studio dello scafoide particolare interesse ricopre la sua vascolarizzazione soprattutto nell'ambito della patologia dello scafoide. Bisogna innanzitutto ricordare che l'irrorazione della complessa struttura del carpo dipende dalla rete volare e dalla rete dorsale, più sviluppata. La prima è costituita dai sottili rami carpici delle arterie radiale ed ulnare, dall'arcata palmare profonda e dall'arteria interossea palmare. La seconda è formata da rami dell'arteria radiale, dell'arteria ulnare e dal ramo perforante dell'arteria interossea dorsale. La particolare condizione vascolare dello scafoide più che essere rappresentata da una povertà vascolare è caratterizzata da una diversità di distribuzione del circolo che è di tipo terminale. E' assicurata da piccoli rami perforanti che raggiungono l'osso attraverso tutte le zone di inserzione capsulo-legamentose. Taleisnik (2) ha individuato, in particolare, tre peduncoli principali:

- vasi latero-palmari che raggiungono lo scafoide in corrispondenza della superficie articolare con il radio;
- un gruppo dorsale che penetra sulla faccia posteriore dell'osso lungo la cresta spinale;
- vasi distali che penetrano in corrispondenza della faccia palmare del tubercolo dello scafoide.

I peduncoli latero-palmare e dorsale sono

largamente anastomizzati mentre il peduncolo distale da solo è responsabile della vascolarizzazione del tubercolo. Infine, una minima vascolarizzazione del polo prossimale è fornita dal legamento radio-scafo-lunato.

Questa organizzazione vascolare se da un lato soddisfa le condizioni generali per il mantenimento di un corretto stato differenziato, dall'altro viene a risultare fortemente deficitaria in condizioni biologiche eccezionali quali la riparazione tessutale in seguito a trauma fratturativo. In queste condizioni il sistema circolatorio "privato" dello scafoide non riesce, a livello dei distretti poco vascolarizzati, come il terzo prossimale, ad assicurare una valida risposta riparativa, anche se, come dimostrato da esperienze cliniche su numerosi pazienti (16), l'integrità del legamento scafo-lunato permette la vitalità di un piccolo polo prossimale. Il più delle volte, però, il processo riparativo evolve verso la pseudo-artrosi o più drammaticamente verso la necrosi.

La differente organizzazione vascolare comporta una serie di domande:

- è possibile correlare alla differente organizzazione vascolare una diversa organizzazione strutturale?
- i territori cartilaginei e le porzioni sub-condrali dipendenti da questi segmenti vascolari presentano la stessa organizzazione strutturale?
- quando ed in che modo eventuali differenze possono influenzare e condizionare l'evoluzione di un processo pseudo-artrosico?

Uno studio (5) in microscopia elettronica a scansione integrato da un pannello istochimico, per l'identificazione della composizione molecolare della matrice non fibrillare, condotto sulla superficie articolare e sulla relativa porzione sub-condrale

dei tre territori scafoidei (terzo prossimale, terzo medio e terzo distale) suggerisce come il frammento prossimale presenti una serie di microirregolarità di superficie con una organizzazione interna estremamente fragile per quanto concerne i livelli di tessitura fibrillare. La scarsità nella composizione della matrice in ialuronato costituisce un dato di estremo interesse per comprendere perchè questo distretto abbia considerevoli difficoltà nei processi riparativi. Infatti, l'acido ialuronico tende a concentrarsi a livello del terzo medio e del terzo distale, mentre è molto scarso a livello del terzo prossimale, mancando quasi del tutto a livello delle singole asperità.

Dai dati registrati sull'organizzazione microcircolatoria a livello del terzo prossimale è facilmente prevedibile come in seguito a frattura il processo riparativo si realizzi in un ambiente ischemico in cui la quota di superossido è estremamente alta (8). Gli effetti negativi del superossido, soprattutto nei tessuti in riparazione, sono aggravati dai bassi livelli di acido ialuronico che non permettono una efficace azione protettiva (9).

Queste considerazioni anatomiche e microstrutturali permettono di intuire il "destino biologico" del frammento prossimale che, se traumatizzato, tranne in alcune particolari evenienze, ha modeste possibilità di autoriparazione.

STRUTTURE CAPSULO-LEGAMENTOSE

Le solide connessioni capsulo-legamentose che connettono lo scafoide alle ossa vicine sono di estrema importanza nell'economia dell'intera struttura carpale.

È possibile individuare tre gruppi di legamenti (6) tra cui quello capsulare dorsale (estrinseco) che è rappresentato dal legamento radioscafoideo dorsale e che insieme a tutti i rimanenti legamenti dorsali del carpo non viene ritenuto di grande importanza essendo nell'insieme relativamente sottili; quello capsulare volare (estrinseco) (Fig.2) rappresentato dal legamento radio-scafo-capitato che è l'unico legamento che abbraccia sia la filiera prossimale che la distale del carpo, il leg. radio-scafo-semilunare che è considerato un legamento intraarticolare oltre che intra-capsulare. Distalmente è presente il leg. scafo-capitato (intrinseco) che con le espansioni del leg. radio-scafo-capitato costituiscono il "legamento raggiato di

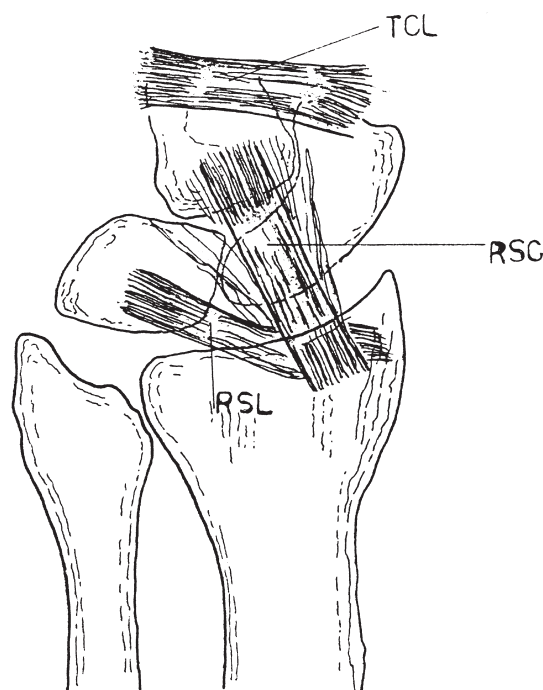


Figura 2. I più importanti legamenti volari estrinseci dello scafoide:

RSC= Legamento radio-scafo-capitato che con lo scafo-capitato intrinseco, costituisce il "leg. raggiato di Poirer".

RSL= Legamento radio-scafo-lunato.

TCL= Legamento trasverso del carpo.

Poirer", tale legamento è all'origine del "fenomeno della rotazione" del tubercolo dello scafoide intorno al collo del capitato nell'inclinazione radiale. Tali legamenti (insieme ai legamenti volari nel loro complesso) sono considerati importanti stabilizzatori del carpo sia rispetto al radio che rispetto alle articolazioni medio-carpiche. Bisogna comunque ricordare che questi legamenti sono costituiti da ispessimenti della capsula volare del polso e che quindi sono difficili da individuare come strutture separate dalla superficie volare.

Il terzo gruppo è rappresentato dai legamenti interossei (intrinseci) di cui lo scafo-lunare è il più potente stabilizzatore tra queste due ossa e che presenta, in avanti, una zona di inserzione abbastanza larga, corrispondente a fibre relativamente allentate, che permette una certa mobilità tra le due ossa mentre, dietro, le fibre sono molto strette intorno ad una vera e propria "cerniera" posteriore; altri legamenti intrinseci sono quelli tra lo scafoide ed il trapezio ed il trapezoide (Fig.3).

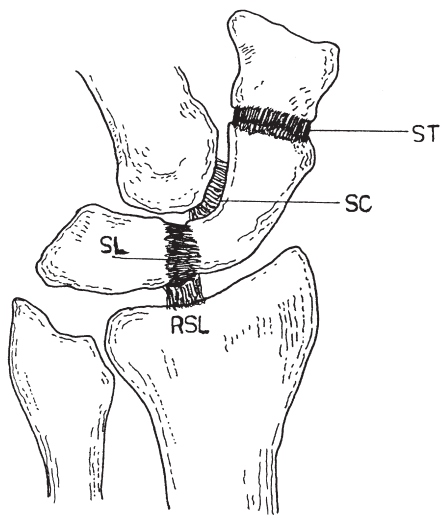


Figura 3. I più importanti legamenti intrinseci dello scafoide: SL= legamento scafo-lunato; RSL= piccola porzione intrinseca del leg. radio-scafo-lunato; ST= legamento scafo-trapezoidale.

Nell'insieme queste complesse strutture legamentose, malgrado, ampiamente studiate e descritte da Taleisnik e Mayfield (3-4), presentano un significato clinico che spesso volte è difficile da valutare. In linea di massima è possibile affermare che la stabilità dello scafoide in relazione alle ossa carpali adiacenti dipende in gran parte dai legamenti interossei che lo fissano distalmente al trapezio ed al trapezoide e prossimalmente al semilunare, pertanto il movimento in queste articolazioni risulta limitato ad eccezione di un certo grado di rotazione prossimalmente e di scivolamento distalmente; tali legamenti, però, si fondono con i legamenti estrinseci-capsulari che essendo abbastanza lassi permettono movimenti liberi dello scafoide nel polso (16).

ANATOMIA FUNZIONALE E BIOMECCANICA

Lo scafoide gioca un ruolo fondamentale nell'economia meccanica del polso, rappresentando un anello stabilizzante tra le due filiere del carpo. Per meglio inquadrare la funzione ed il ruolo è necessario considerare il polso nel suo insieme, la cui funzione è quella di permettere il movimento trasmettendo le forze alla mano distalmente, ed all'avambraccio prossimalmente, e di essere, al contempo, stabile con un minimo sforzo. In quest'ottica il polso si è evoluto in un complesso di articolazioni tra sette ossa (scafoide, semilunare, piramidale, trapezio, trapezoide, capitato ed uncinato) tenute le une alle altre attraverso un complicato insieme di legamenti che attraverso una complessa organizzazione geometrica assicura il movimento, la stabilità e la trasmissione

delle forze. Attualmente le teorie anatomico-funzionali più accreditate sono due (6):

- **TEORIA DELLE FILIERE** (17) che prevede la sistemazione delle ossa del carpo in una filiera prossimale (scafoide, semilunare e piramidale) ed in una distale (trapezio, trapezoide, capitato ed uncinato) che individuano due articolazioni maggiori, rispettivamente, la prima insieme al radio la radio-carpica e la seconda la medio-carpica. In questo ambito, per l'appunto, lo scafoide, intercalato tra la filiera distale e la fibrocartilagine triangolare (TFC) del radio, svolgerebbe un ruolo di stabilizzatore (7-12-13) ed insieme al semilunare, attraverso modificazioni della propria configurazione esterna, garantirebbe una congruenza del polso in tutte le posizioni. Questo permette che le forze compressive vengano trasmesse dalla filiera distale a quella prossimale e poi alla TFC del radio. In particolare Weber (11) afferma che la maggior parte della forza viene trasmessa dal II e III metacarpo al trapezoide ed al capitato, poi ai 2/3 prossimali dello scafoide e del semilunare e quindi al radio. Palmer (18) ha dimostrato come l'entità della forza trasmessa al radio sia funzione della variante ulnare, infatti nella variante ulnare negativa il 100% della forza passa attraverso il radio, nella variante ulnare positiva solo il 70% della forza è trasmessa attraverso il radio mentre la restante parte passa attraverso la TFC e la stiloide ulnare (Fig.4).

- **TEORIA COLONNARE** (19) che prevede un inquadramento del carpo diverso in quanto, secondo Taleisnik che ha modificato la teoria di Navarro(3), il polso consisterebbe di tre colonne di cui quella centrale, costituita prossimalmente dal semilunare e distalmente dal resto della filiera distale, rappresenterebbe la colonna pri-

maria di flesso-estensione. La colonna radiale mobile sarebbe costituita dallo scafoide mentre quella ulnare, o colonna di rotazione dal piramidale (Fig.5).

La teoria delle filiere è quella che più corrisponde ai dati a disposizione anche se non tutti gli Autori sono d'accordo sull'esatta entità del movimento che avviene nelle varie articolazioni del carpo (6-10-11) ciò anche in virtù del fatto che questi movimenti sono piccoli di ampiezza ed avvengono soprattutto in rotazione e perciò sono molto difficili da visualizzare con i metodi tradizionali, compresa la radiografia. Un pò di luce su questa complessa macchina è stata fatta da studi condotti su cadavere (6) che hanno evidenziato come la flessione e l'estensione avvengano in maniera pressochè identica attraverso il movimento dell'articolazione radio-carpica e medio-carpica, rappresentata in particolare dal tandem scafoide-semilunare essendo la seconda filiera fissa nei suoi rapporti con i metacarpi, stabilizzati dalle inserzioni muscolari. Valutando i movimenti delle ossa del carpo sul piano sagittale partendo da una posizione di riferimento con il polso di profilo e con il III metacarpo situato sull'asse del radio (profilo di Meyrueis), in questa posizione la linea che congiunge i due corni del semilunare è perpendicolare all'asse diafisario del radio mentre lo scafoide è obliquo in basso ed in avanti di 45° (con un range tra 30° e 60°)(Fig.6). Nel passaggio dalla posizione neutra alla flessione completa contribuisce per il 62% la medio-carpica attraverso un'oscillazione con movimento ad altalena dello scafoide che si orizzontalizza con il suo asse maggiore che diventa perpendicolare all'asse della diafisi radiale insieme al semilunare che si sposta in avanti ed al piramidale che partecipa in misura mino-

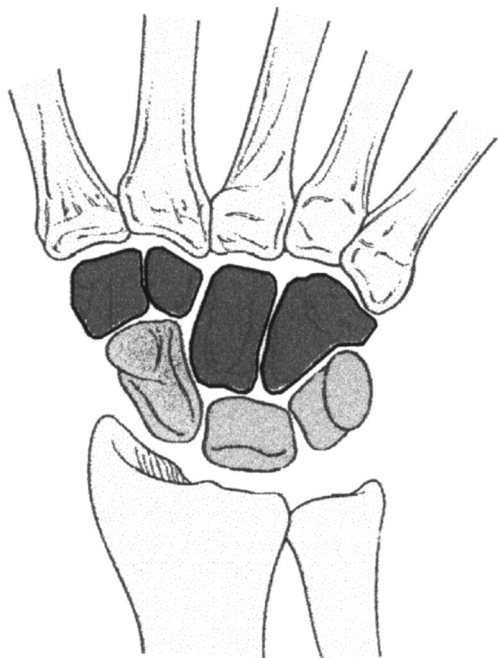


Figura 4. Anatomia del carpo: teoria delle filiere. (Da Green D.P.: Operative Hands Surgery, Vol. 2. Churchill Livingstone, 1988, p. 876).

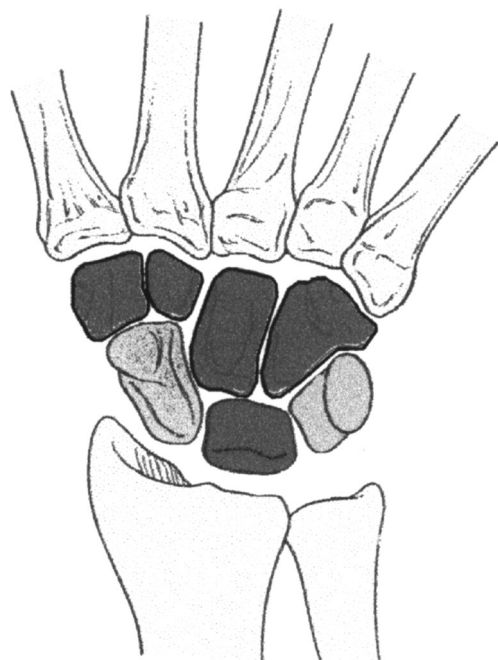


Figura 5. Anatomia del carpo: teoria delle colonne (Riprodotta da Lichtman D.M. et al.: J. Hand Surg. 6:522, 1981).

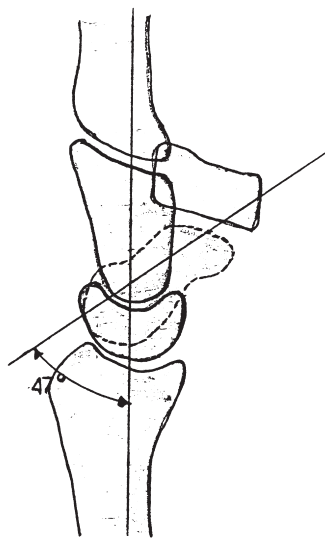


Figura 5. Polso normale come appare in una perfetta proiezione laterale in cui l'asse principale dello scafoide disegna, comparato con l'asse principale del semilunare, un angolo di 47° (con un range tra 30° e 60°).

re. Nel passaggio dalla posizione neutra all'estensione completa contribuisce per il 62% la radio-carpica, mentre il semilunare si porta in dorsi-flessione e lo scafoide si posiziona sull'asse del radio in flessione dorsale massima; la faccia posteriore dello scafoide non urta mai contro la porzione posteriore del radio distale. Nel passaggio dall'estensione massima alla flessione massima lo scafoide ed il semilunare effettuano un movimento relativo di una trentina di gradi che si produce in un punto vicino al corno posteriore del semilunare per la brevità delle fibre posteriori del legamento scafo-lunare interosseo. La deviazione radio-ulnare del polso è assicurata sia dalla radio-carpica che dalla medio-carpica, anche se quest'ultima ha una leggera prevalenza con il 55%, in particolare questo movimento è permesso dallo scafoide che, liberamente mobile, oscilla trasversalmente orientandosi secondo la posizione delle sue superfici articulari.

ri per azione del trapezio e del trapezoide. Nell'abduzione il tubercolo dello scafoide fa nettamente protrudere la pelle in superficie mentre, contemporaneamente, il pavimento della tabacchiera anatomica si infossa, inversamente, nell'adduzione la tabacchiera viene colmata dallo scafoide che si sposta dorsalmente mentre il suo tubercolo risulta scomparso a livello del carpo (15).

Ne deriva che ogni alterazione regionale del complesso sistema capsulo-legamentoso legata a lesioni osse (scafoïdali) o prettamente legamentose (periscafoïdali) determina, a causa dell'obliquità dello scafoide, intercalato in posizione precaria tra il radio ed il blocco trapezio-trapezoide, una orizzontalizzazione dello scafoide con aumento della compressione esercitata dalla testa del capitato sul semilunare per cui il semilunare stesso, posto in equilibrio sulla testa del capitato, avrà la tendenza ad interporre la sua porzione più stretta (corno posteriore) tra capitato e radio. Appare chiara, quindi, l'importanza dell'asse scafoide-semilunare che rappresenta il principale responsabile di una potenziale instabilità dell'intera struttura carpale. Pertanto l'instabilità scafo-lunare si definisce con l'associazione dell'orizzontalizzazione e dell'antiversione dello scafoide e della sub-lussazione laterale del semilunare e del piramidale con rotazione dorsale, mentre il capitato e l'uncinato si sub-lussano dorsalmente e prossimalmente. Questa situazione valutata radiograficamente su un'immagine tipo "profilo di Meyrueis" produce la caratteristica instabilità dorsale in DISI (dorsiflexed intercalated segment instability) (Fig.7). Al contrario quando il semilunare è flesso palmarmente rispetto al radio si determina una instabilità in VISI (volarflexed inter-

calated segment instability) (Fig.8). È possibile incorrere in errore se l'immagine radiografica non è perfettamente in asse con il piano frontale: l'inclinazione radiale comporta un'orizzontalizzazione dello

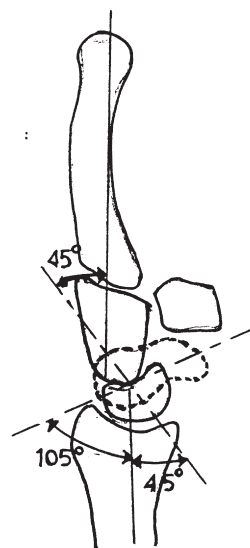


Figura 7. Instabilità dorsale del segmento intermedio. L'angolo scafo-semilunare è elevato (105°), altrettanto quello capitato-semilunare (45°) e quello radio-semilunare (45°).

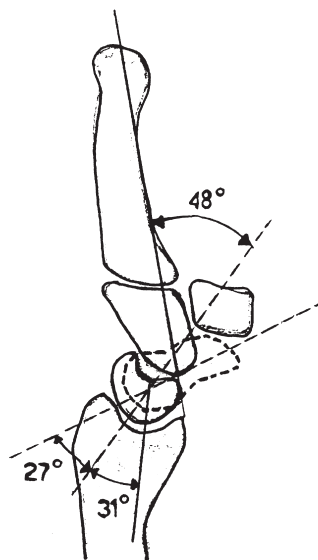


Figura 8. Instabilità volare del segmento intermedio. L'angolo scafo-semilunare è ridotto (27°), come anche l'angolo radio-semilunare (31°); invertito è l'angolo capitato-semilunare (-48°).

scafoide che determina una fisiologica flessione ventrale del semilunare; al contrario, l'inclinazione cubitale attraverso una verticalizzazione dello scafoide comporta uno spostamento dorsale fisiologico del semilunare. Inoltre, molte immagini di profilo non sono realizzate in posizione corretta ma in leggera flessione dorsale, in questi casi è possibile diagnosticare l'instabilità scafo-lunare riferendosi unicamente ai rispettivi rapporti dello scafoide e del semilunare: bisogna tracciare la linea congiungente i corni anteriore e posteriore del semilunare ed allineando il semilunare all'estremità prossimale dello scafoide. In un polso normale tale linea si proietta al di sotto o a contatto con il bordo anteriore superiore del tubercolo dello scafoide; solo in flessione palmare questa linea tocca il tubercolo dello scafoide e l'articolazione scafo-trapezoidale quindi, al di fuori della flessione palmare, una linea "bilunare" che si proietta in pieno sul tubercolo dello scafoide indica una chiusura dell'angolo scafo-lunare e dunque un'instabilità.

L'instabilità, a sua volta, attraverso un'osteoartite precoce conseguente all'anormale distribuzione dei carichi sulle superfici articolari ed attraverso la retrazione capsulo-legamentosa reattiva, porta alla determinazione di una deformità fissa con anchilosi e collasso carpale (16).

Un utile contributo allo studio del ruolo dello scafoide nella meccanica dei movimenti del carpo può essere fornito dall'analisi morfologica del tracciato isocinetico. Alterazioni anatomiche dello scafoide dovute ad eventi traumatici possono essere correlate ad aspetti caratteristici del tracciato. In particolare, nel movimento di flessione di un polso patologico, nel range compreso tra 35° e 40°, è frequente osservare un aspetto a punta del tracciato

rispetto all'andamento a plateau fatto registrare in condizioni di normalità. Inoltre, tale indagine, tramite la possibilità di quantificare la ridotta escursione articolare, il valore medio del picco del momento di forza, dell'indice di fatica e del lavoro totale svolto dai gruppi muscolari sinergici ed antagonisti nei movimenti articolari del polso, permette una valutazione indiretta del ruolo dello scafoide in situazioni di normalità o di patologie post-traumatiche.

BIBLIOGRAFIA

1. Gelberman R.H., Menon J.: "The vascularity of the scaphoid bone". *J.Hand Surg.* 5: 508-513, 1980.
2. Taleisnik J, Kelly P.J.: "The extraosseus and intraosseus blood supply of the scaphoid bone". *J.B.J.S.* 48A: 1125-1137, 1966.
3. Taleisnik J.: "Post-traumatic carpal instability". *Clin. Orthop.* 149: 73-82, 1980.
4. Taleisnik J.: "The ligaments of the wrist". *J. Hand Surg.* 1: 110-118, 1976.
5. Tajana G.F., Corrado E.M.: "Anatomia macro-microscopica dello scafoide". *Atti II Congresso Internazionale Hispano-Italiano de Chirurgia de la Mano*, Girona: 77-80, 1989.
6. Ruby L.K.: "Fratture e lussazioni del carpo". In Browner B.D, Levine A.M., Jupiter J.B., Trafton P.G.: "Traumatologia dell'apparato muscolo-scheletrico". Vol. 3: 1073-1112; Verduci Editore, 1994.
7. Ruby L.K., Cooney W.P.: "Relative motion of selected carpal bones: a kinematic analysis of the normal wrist". *J.Hand Surg.* 13A: 1-10, 1988.
8. Mc Cord J.: "Dangerous effects of superoxyd". *J.Biol.Chem.* 243: 4753-4755, 1968.
9. Howell S.T.: "Transaction of the 35 Annual Meeting Orthopedica Research Society", Las Vegas. Vol.14: 393, 1987.
10. Sarrafian S.K., Melamed J.L., Goshgarian G.M.: "Study of wrist motion in flexion and extension". *Clin. Orthop.* 126: 153-159, 1977.

11. Weber E.R.: "Concepts governing the rotational shift of the intercalated segment of the carpus". *Orthop. Clin. North. Am.* 15: 193-207, 1984.
12. Fisk G.R.: "The wrist". *J.B.J.S.* 66B: 396-407, 1984.
13. Linsheid R.L., Dobyns J.H., Beabout J.W., Bryan R.S.: "Traumatic instability of the wrist". *J.B.J.S.* 54A: 1612-1632, 1972.
14. Schuhl J.F., Leroy B., Comtet J.J.: "Etude radiologique de la mobilité relative du scafoide et du semi-lunaire". *Ann. Chir. Main* 4: 143-148, 1985.
15. Ambrose L., Green S.M., Posner M.A.: "The effects of scaphoid intercarpal stabilizations on wrist mechanics: An experimental study". *J. Hand Surg.* 17A, 3: 429-437, 1992.
16. Herbert T.J.: "Anatomy and biomechanics". In Herbert T.J.: "The fractured scaphoid". Q.M.P., St. Louis (Missouri): 12-25, 1990.
17. Green D.P.: "Operative hand surgery". Vol. 2: 874-878, Churchill Livingstone, 1988.
18. Palmer A.K., Werner F.W.: "Biomechanics of the distal radioulnar joint". *Clin. Orthop.* 187: 26-35, 1984.
19. Lichtman D.M.: "Ulnar midcarpal instability - clinical and laboratory analysis". *J. Hand Surg.* 6: 515-523, 1981.