

UNIVERSIDAD DE GRANADA

DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA Y SUS ESPECIALIDADES



TESIS DOCTORAL

**CAMBIO EN EL PARADIGMA DEL TRATAMIENTO DE LA
INESTABILIDAD DISOCIATIVA CRÓNICA DEL CARPO: DE LA
REPARACIÓN DEL LIGAMENTO ESCAFOSEMILUNAR A LA
ESTABILIZACIÓN ÓSEA**

Autor: Rodrigo Cañadillas Rueda

**Directores: Pedro Hernández Cortés
Miguel Alaminos Mingorance**

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Rodrigo Cañadillas Rueda
ISBN: 978-84-1195-658-1
URI: <https://hdl.handle.net/10481/102021>



Título: Cambio en el paradigma del tratamiento de la inestabilidad disociativa crónica del carpo: de la reparación del ligamento escafosemilunar a la estabilización ósea.

Autor: Rodrigo Cañadillas Rueda

Directores: Pedro Hernández Cortés y Miguel Alaminos Mingorance

TRIBUNAL

Presidente: Clarisa Simón Pérez

Secretario: Nicolás Prados Olleta

Vocal: Fidel Hita Contreras

Realizado el acto de defensa y lectura de la tesis doctoral el día ___ de _____ de 20__ en la Sala de Grados de la Facultad de Medicina de la Universidad de Granada

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL

AGRADECIMIENTOS

- *Al Dr. Pedro Hernández Cortés, director de esta tesis, a quien profeso gran admiración personal y profesional; por confiar en mí, por su inagotable paciencia y su continuo apoyo. Por hacer fácil lo que era complicado, por generar confianza donde era difícil conseguirla y por haber sido ejemplo, amigo y maestro.*

- *Al Dr. Miguel Alaminos Mingorance, director de esta tesis, por su colaboración y apoyo, por su soporte profesional, institucional y personal.*

- *Al Dr. José Hernández Pomada, Jefe del Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Universitario de Jaén, por transmirme los grandes valores humanos y profesionales de la profesión médica y por haberme tratado más que como un jefe, como un amigo, un compañero y un modelo a seguir.*

- *A las Dras. Claudia Sánchez Agesta y a M^a Ángeles Vilazán Cervantes por sus estudios previos en las materias abordadas en esta tesis.*

- *Al Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Universitario de Jaén, en especial a mis compañeros Alejandro E. Fidalgo, Raúl Alcántara, Antonio Carrero, José Antonio Villalba, Manuel Molina, Domingo Obrero, Rafael Herrera y Moisés Natividad por su amistad, por su gran sentido del compañerismo y por haber sido artífices de mi formación al acogerme desde residente para enseñarme a ser traumatólogo. A la Dra. Laura López Cuquerella, por su ayuda en la disección de los especímenes.*

- *Al Dr. Fidel Hita Contreras, por iniciarme en los estudios de doctorado y despertar en mí la inquietud por la realización de la tesis doctoral que ahora termino.*

- *A Juan García Rísquez, fotógrafo, por el tratamiento de las imágenes. A Carmen Rosa Garrido, técnico en Metodología de la Investigación de FIBAO, por su apoyo metodológico y estadístico.*
- *Al Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Universidad de Granada, en especial al personal de la sala de disección y a la Dra. Olga Roda Murillo por su colaboración en la preparación de los especímenes, por su actitud servicial, amable y constante disponibilidad con la mejor sonrisa.*
- *A Richard Davis, por su colaboración en la traducción.*
- *A mi familia, en especial a Carmen, mi esposa, por su infinita generosidad y comprensión con el tiempo que he invertido en este trabajo. Por cuidarme, transmitirme cariño y por ser mi ejemplo diario en lo personal, familiar y laboral. Por infundirme ánimo y apoyo contínuo y porque sin su consejo y ayuda no hubiera podido llevar a cabo esta tesis doctoral. A mi hija Carmen, porque con su cariño, su inocencia y su alegría me ayuda a ser mejor persona.*
- *A mis padres por darme la vida. Por su amor incondicional y apoyo constante. Por educarme en valores, guiarme y acompañarme siempre. Por estar a mi lado en los aciertos y en las dificultades, transmitiéndome seguridad y confianza. Por aconsejarme y enseñarme el camino correcto, siendo ejemplo de todo y por hacer de mí lo que soy.*
- *A mis suegros Pedro y Carmen por tratarme como a un hijo, por su constante disposición y soporte en nuestra conciliación familiar, laboral y científica.*
- *A mis amigos, sin nombrar a ninguno en particular, pero teniéndolos presentes a todos. Por estar a mi lado en los momentos buenos y en los no tan buenos.*
- *A Dios por todo.*

«Con paciencia, fe y esperanza, todo se alcanza»

Santa Teresa de Ávila
(1515 – 1582)

INDICE

1. RESUMEN	Pág.19
2. INTRODUCCIÓN	Pág. 24
2.1. Bases estructurales del carpo	Pág. 26
2.1.1 Anatomía del carpo	Pág. 26
a) Osteología	Pág. 26
b) Anatomía ligamentosa del carpo	Pág. 39
2.1.2 Fisiología del carpo: Biomecánica, cinética y cinemática	Pág. 51
a) Cinemática	Pág. 51
b) Cinética	Pág. 65
2.2 Inestabilidad del Carpo	Pág. 69
2.2.1 Concepto, epidemiología e importancia socioeconómica	Pág. 69
2.2.2 Clasificación	Pág. 73
2.3 Inestabilidad disociativa: Lesiones del ligamento escafosemilunar	Pág.88
2.3.1 Anatomía, histología y biomecánica del ligamento escafosemilunar	Pág. 88
2.3.2 Historia natural, fisiopatología y clínica de las lesiones del ligamento escafosemilunar	Pág. 94
2.3.3 Clasificación	Pág. 101
2.3.4 Diagnóstico por imagen	Pág. 108
2.3.5 Tratamiento	Pág. 132

3. HIPÓTESIS	Pág. 178
4. OBJETIVOS	Pág. 184
5. MATERIAL y MÉTODOS	Pág. 188
5.1 Diseño del estudio	Pág. 190
5.2. Procedimientos experimentales	Pág. 191
5.2.1 Recreación del modelo de inestabilidad escafosemilunar	Pág. 191
5.2.2 Osteotomía en flexión del radio distal	Pág. 202
5.3. Evaluación radiográfica	Pág. 204
5.4. Medidas y variables	Pág. 206
5.5 Análisis estadístico	Pág. 215
6. RESULTADOS	Pág. 217
a) Estudio radiocinemático del carpo en los especímenes en estadio basal	Pág. 219
I. Proyecciones anteroposteriores	Pág. 219
II. Proyecciones laterales	Pág. 222
III. Valores medios	Pág. 223
IV. Comportamiento del carpo en situación basal	Pág. 226
b) Estudio radiocinemático del carpo en los especímenes tras crear el modelo de inestabilidad	Pág. 231
I. Proyecciones anteroposteriores	Pág. 232

II. Proyecciones laterales	Pág. 235
III. Valores medios	Pág. 237
IV. Comportamiento del carpo con el modelo de inestabilidad	Pág. 239
c) Estudio radiocinemático del carpo en los especímenes tras realizar la osteotomía	Pág. 249
I. Proyecciones anteroposteriores	Pág. 250
II. Proyecciones laterales	Pág. 253
III. Valores medios	Pág. 255
IV. Comportamiento del carpo con la osteotomía	Pág. 257
d) Análisis comparativo	Pág. 265
i. Análisis comparativo entre los especímenes en situación basal y tras la realización del modelo de inestabilidad	Pág. 265
ii. Análisis comparativo entre los especímenes con el modelo de inestabilidad y tras la realización de la osteotomía	Pág. 269
iii. Análisis comparativo entre los especímenes en situación basal y tras la realización de la osteotomía	Pág. 274
7. DISCUSIÓN	Pág. 279
8. CONCLUSIONES	Pág. 291

9. BIBLIOGRAFÍA	Pág. 296
10. ANEXOS	Pág. 322
10.1. Actividades del doctorando	Pág. 324
10.2 Glosario	Pág. 326
10.3 Índice de tablas	Pág. 331
10.4 Índice de figuras	Pág. 333
10.5 Artículo: Radiographic evaluation of radial flexion osteotomy effect on static scapholunate inst ability: a preliminary cadaveric study	Pág. 338

1. RESUMEN

1. RESUMEN

Introducción:

La causa más frecuente de inestabilidad del carpo corresponde a las lesiones del ligamento escafosemilunar. Estas lesiones frecuentemente pasan desapercibidas diagnosticándose en estadios avanzados, lo que favorece la progresión de la enfermedad hasta el colapso degenerativo avanzado del carpo o muñeca SLAC. El tratamiento óptimo de la inestabilidad escafosemilunar crónica cuando aún es posible la restauración de la alineación carpiana y en ausencia de cambios degenerativos aún no se ha establecido. Se han descrito numerosos procedimientos quirúrgicos, pero ninguno ha conseguido obtener un resultado claramente satisfactorio. Las ligamentoplastias escafosemilunares aún están lejos de ser la solución ideal.

Hipótesis:

La osteotomía en cuña en flexión-adicción suprametafisaria del radio distal mejora la desalineación y evita la subluxación rotatoria del escafoides en un modelo cadavérico de inestabilidad escafosemilunar disociativa estática.

Material y métodos:

Realizamos un estudio radiocinemático experimental a 15 especímenes criopreservados en los que recreamos un modelo anatómico de inestabilidad escafolunar mediante la división del ligamento interóseo escafolunar (SLIL) y de los estabilizadores secundarios (ligamento radio-escafo-hueso grande, ligamentos del área escafo-trapecio-trapezoidal y ligamentos extrínsecos dorsales del carpo) tomando radiografías al inicio, después de la realización del modelo de inestabilidad y después de la osteotomía del radio

distal. Obtuvimos proyecciones anteroposteriores para medir la longitud en milímetros del escafoides y del intervalo escafosemilunar y proyecciones laterales estáticas y dinámicas (bajo tracción tendinosa de 5 libras controlada por un dinamómetro digital aplicada secuencialmente en los tendones *extensor carpi ulnaris*, *extensor carpi radialis longus* y *extensor carpi radialis brevis*, *flexor carpi ulnaris* y *flexor carpi radialis*), para medir en grados sexagesimales el ángulo escafosemilunar, el ángulo radiolunar y la inclinación palmar de la superficie articular distal del radio, y para medir en milímetros la traslación del escafoides dorsal por el método de círculos concéntricos. Para el análisis estadístico utilizamos el test de Wilcoxon.

Resultados:

El intervalo escafosemilunar disminuyó significativamente después de la osteotomía en todas las proyecciones anteroposteriores estáticas y en todas las proyecciones laterales bajo tracción tendinosa. La traslación del dorsal del escafoides se redujo significativamente en la proyección lateral estática en extensión y en la proyección lateral dinámica bajo una tracción del tendón *flexor carpi radialis*. Los parámetros registrados en los especímenes antes de realizar el modelo de inestabilidad y tras la realización de la osteotomía fueron muy similares.

Conclusión:

La osteotomía flexión-adición de la metáfisis radial distal mejora los parámetros de alineación del carpo en un modelo cadavérico de inestabilidad escafosemilunar estática, alcanzando valores similares a los obtenidos antes de producirse la inestabilidad.

2. INTRODUCCIÓN

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Bases estructurales del carpo

2.1.1. Anatomía del carpo

a) Osteología (Rouvière y Delmas, 2005)

El carpo está formado por ocho huesos cortos de tejido óseo esponjoso recubierto por una delgada lámina de tejido óseo compacto. Se disponen en dos hileras: una proximal o antebraquial y otra distal o metacarpiana. En conjunto forman un canal de concavidad anterior por el que se deslizan los tendones de los músculos flexores de los dedos. A excepción del hueso piramidal, pisiforme y del ganchoso, la mayor parte de los huesos del carpo presentan forma cúbica y en consecuencia constan de 6 caras. Las caras anterior y posterior de cada hueso son rugosas y corresponden a las caras palmar y dorsal de la mano.

La cara superior, inferior, lateral y medial son articulares exceptuando las caras laterales o mediales de los huesos situados en los extremos de ambas hileras del carpo.

Los ocho huesos del carpo forman en su conjunto un macizo óseo que presenta cuatro caras: anterior, posterior, superior e inferior, y dos bordes: lateral y medial.

- La cara anterior está excavada en forma de canal, conocida como canal carpiano. Este canal está limitado lateralmente por los tubérculos de los huesos escafoides y trapecio, y medialmente por la eminencia del hueso pisiforme y el gancho del ganchoso. Una lámina fibrosa gruesa, el retináculo flexor, que se extiende transversalmente entre los salientes óseos que limitan lateralmente el canal carpiano, lo transforma en un

- conducto osteofibroso. Por este conducto denominado “conducto carpiano” o “túnel carpiano” discurren el nervio mediano y los tendones de los músculos *flexor digitorum superficialis*, *flexoris profundum digitorum* y *flexor capi radialis*.
- La cara posterior del macizo carpiano es convexa.
- La cara superior es articular y está formada por las caras superiores de los huesos escafoides, semilunar y piramidal. Constituye una superficie articular convexa, denominada cóndilo carpiano, que corresponde a los extremos inferiores de los huesos del antebrazo.
- La cara inferior está formada por una serie de carillas que se articular con las carillas articulares superior de los huesos metacarpianos.
- Los bordes laterales son rugosos y sirven de inserción a músculos y sobretodo, ligamentos.

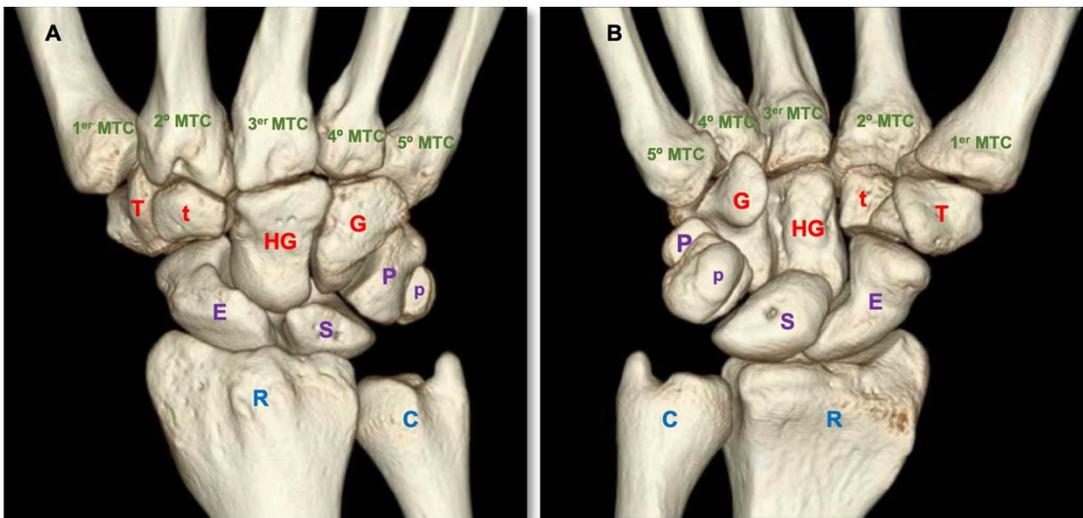


Fig 1: Osteología del carpo. A: Visión dorsal; B: Visión ventral. **En color azul:** C: Cúbito; R: Radio. **En color morado:** Huesos de la hilera proximal: E: Escafoides; S: Semilunar; P: Piramidal; p: Pisiforme. **En color rojo:** Huesos de la hilera distal: T: Trapecio; t: Trapezoide; HG: Hueso grande; G: Ganchoso. **En color verde:** 1^o-5^o metacarpianos.

i. Hilera proximal

- *Hueso escafoides*: Es el más lateral de los huesos de la hilera proximal. Es alargado de superior a inferior y de medial a lateral. Se describen en él las siguientes superficies:



Fig. 2: Radiografía anteroposterior de muñeca. **Línea roja:** hueso escafoides



Fig. 3: Radiografía lateral de muñeca. **Línea roja:** hueso escafoides

- Cara anterior o palmar, rugosa que se prolonga lateralmente por medio de un saliente denominado tubérculo del escafoides, en el que se inserta el ligamento colateral radial del carpo
 - Cara posterior o dorsal, estrecha y reducida a un surco rugoso.
 - Cara superior convexa, articular y en relación con el radio
 - Cara inferior, también convexa y articular para el hueso trapecio y trapezoide.
 - Cara medial que posee dos superficies articulares: una superior, pequeña y casi plana, que se relaciona con el hueso semilunar, y otra inferior, cóncava y mucho más extensa, articulada con el hueso grande,
 - Cara lateral, que es rugosa y está excavada por un surco relacionado por la arteria radial (Poirier)
- *Hueso semilunar*; Está situado éntrelos huesos escafoides y piramidal.



Fig. 4: Radiografía anteroposterior de muñeca. **Línea roja:** hueso semilunar

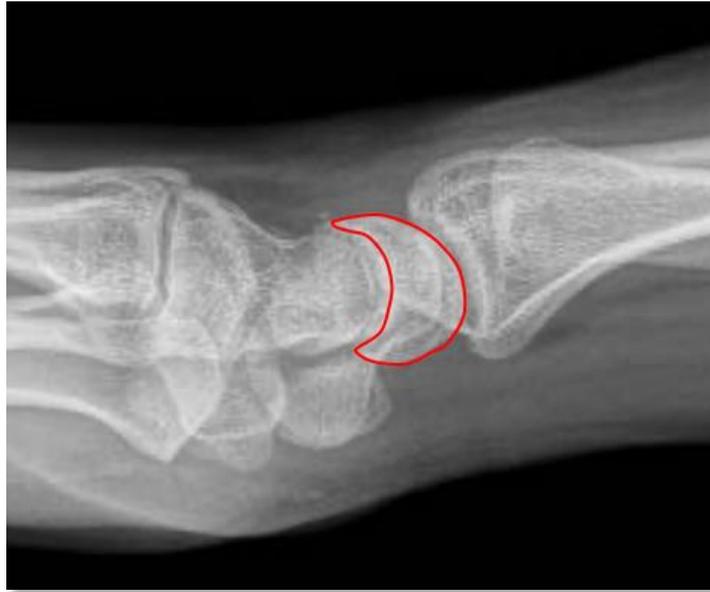


Fig. 5: Radiografía lateral de muñeca. **Línea roja:** hueso semilunar

- Cara anterior: es convexa y rugosa.
 - Cara posterior: es casi plana y también es rugosa.
 - Cara superior es convexa y se articula con el radio.
 - Cara inferior: es cóncava y se une al hueso grande lateralmente y por medio de una superficie estrecha, al hueso ganchoso mediamente.
 - Cara lateral: se articula con el hueso escafoides
 - Cara medial: se articula con el hueso piramidal.
- *Hueso piramidal:* está situado mediamente al hueso semilunar y presenta forma de una pirámide cuadrangular.



Fig. 6: Radiografía anteroposterior de muñeca. Línea roja: hueso piramidal



Fig. 7: Radiografía lateral de muñeca. Línea roja: hueso piramidal

- Consta de las siguientes superficies:
 - Cara superior: convexa, articulada con el disco articular
 - Cara inferior: cóncava, en conexión con el hueso gancho.
 - Cara anterior, en la que se advierte una pequeña superficie articular ligeramente convexa destinada al hueso pisiforme.

- Cara posterior, que presenta un saliente rugoso transversal llamado cresta del hueso piramidal, en el que se inserta un fascículo del ligamento colateral cubital del carpo.
- Cara lateral o base, articulada con el hueso semilunar
- Vértice medial rugoso.

I. Hueso pisiforme: Se trata de un hueso irregularmente redondeado.



Fig. 8: Radiografía anteroposterior de muñeca. Línea roja: hueso pisiforme



Fig. 9: Radiografía lateral de muñeca. Línea roja: hueso pisiforme

Presenta los siguientes aspectos:

- Cara articular posterior, ligeramente cóncava, en conexión con la cara anterior del hueso piramidal.
- Lateralmente, un surco poco profundo en relación con la arteria cubital.
- Anteriormente, la superficie de inserción del músculo *flexor carpi ulnaris*, en su parte superior y del músculo *abductor digiti minimi* en su parte inferior.

II. Hilera distal

- *Hueso trapecio*: Es el más lateral de los huesos de la segunda hilera.



Fig. 10: Radiografía anteroposterior de muñeca. **Línea roja:** hueso trapecio



Fig. 11: Radiografía lateral de muñeca. Línea roja: hueso trapecio

- Se describen en él las siguientes superficies:
 - Cara anterior: presenta un surco en el que se desliza el tendón del músculo *flexor carpi radialis*; este surco está limitado lateralmente por una cresta saliente denominada “tubérculo del hueso trapecio”.
 - Cara posterior, rugosa, que presenta en sus extremos lateral y medial un tubérculo destinado a inserciones ligamentosas
 - Cara superior, articular y cóncava, en relación con el hueso escafoides
 - Cara inferior, convexa de anterior a posterior y cóncava transversalmente, que se articula con el primer metacarpiano.
 - Cara lateral, rugosa.
 - Cara medial, que se halla en relación mediante dos superficies articulares distintas con el hueso trapecoide superiormente y con el segundo metacarpiano inferiormente.

- *Hueso trapezoide*: Está situado entre el hueso trapecio y el hueso grande.



Fig. 12: Radiografía anteroposterior de muñeca. **Línea roja:** hueso trapezoide



Fig. 13: Radiografía lateral de muñeca. **Línea roja:** hueso trapezoide

- Cara anterior y posterior: son rugosas.
- Cara superior: es cóncava y se articula con el hueso escafoides.
- Cara inferior: se une al segundo metacarpiano por medio de una carilla cóncava de anterior a posterior y convexa transversalmente.

- Cara lateral: es convexa de superior a inferior y cóncava de anterior a posterior y corresponde a la articulación con el trapecio.
 - Cara medial: es cóncava y se articula con el hueso grande.
- *Hueso grande*: Es el más voluminoso de los huesos del carpo. Es alargado de superior a inferior, correspondiendo su eje mayor con el de la propia mano.



Fig. 14: Radiografía anteroposterior de muñeca. **Línea roja:** hueso grande



Fig. 15: Radiografía lateral de muñeca. **Línea roja:** hueso grande

- Se describen en él una parte superior, redondeada, denominada cabeza, una parte inferior o cuerpo y una zona intermedia denominada cuello.
 - Cara anterior: es rugosa.
 - Cara posterior: se prolonga inferiormente por medio de un saliente: la apófisis del hueso grande.
 - Cara superior: es convexa y se articula con los huesos escafoides y semilunar.
 - Cara inferior: constituye una superficie articular en la cual se pueden distinguir tres carillas yuxtapuestas para el segundo, tercer y cuarto metacarpianos.
 - Cara lateral: se articula superiormente al hueso escafoide por medio de una superficie convexa que prolonga la superficie articular superior, inferiormente se articula con el hueso trapecoide mediante una carilla distinta.
 - Cara medial: presenta una superficie articular destinada al ganchoso.

- *Hueso ganchoso*: Presenta forma de un prisma triangulad.



Fig. 16: Radiografía anteroposterior de muñeca. **Línea roja:** hueso ganchoso

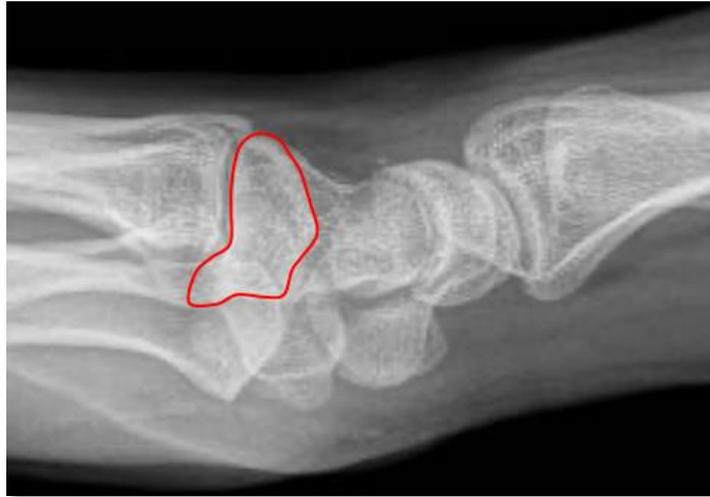


Fig. 17: Radiografía lateral de muñeca. Línea roja: hueso ganchoso

Consta de cinco caras:

- Cara anterior: presenta un saliente en forma de gancho llamado “gancho del ganchoso”, que es aplanado de lateral a medial; su cara lateral es cóncava y limita medialmente el canal carpiano; su cara medial presenta un surco producido por el paso del ramo profundo del nervio cubital y la rama palmar profunda de la arteria cubital. En la parte inferomedial del gancho se inserta el músculo *flexor digiti minimi brevis* y *oponens digiti minimi*.
- Cara posterior: es rugosa
- Cara inferior: es articular y está dividida en dos carillas: una lateral y cóncava para el cuarto metacarpiano, y otra medial, cóncava de anterior a posterior, y convexa de lateral a medial, para el quinto metacarpiano.
- Cara lateral: se articula con el hueso grande
- Cara superomedial: es convexa superiormente y cóncava inferiormente. Es rugosa a lo largo de su borde inferior. Algunos autores describen esta estrecha banda rugosa como una cara medial. La cara superomedial está articulada superiormente con el hueso piramidal.

b) Anatomía ligamentosa del carpo

El sistema ligamentoso de la muñeca presenta una anatomía extraordinariamente compleja y es altamente variable entre individuos (Berger 1997). Los ligamentos carpianos tienen como función el mantenimiento de la relación de los huesos del carpo en los múltiples grados de movilidad de la muñeca, mantienen la estabilidad y congruencia articular en todo el rango de movimiento y favorecen la función de movimiento armónico del carpo con relación al antebrazo y a los metacarpianos. También desempeñan un papel fundamental en la transmisión de la fuerza entre los huesos carpianos (Berger, 2001).

Se dividen en dos grupos: intrínsecos y extrínsecos (Taleisnik, 1976):

- Los ligamentos intrínsecos son cortos y fuertes y tienen su origen e inserción dentro del carpo, relacionando dos huesos pertenecientes a la misma o a distinta hilera.
- Los ligamentos extrínsecos tienen su origen o inserción en los huesos del antebrazo o en los metacarpianos, y se insertan en los huesos del carpo. Actúan aportando estabilidad directa y mediante refuerzos capsulares, retinaculares y en las vainas de los tendones (Leake y cols, 2020).

i. Ligamentos intrínsecos

Los ligamentos intrínsecos son los ligamentos interóseos que conectan los huesos del carpo entre sí. Son ligamentos cortos, tienen menor concentración de fibras elásticas y su área de inserción en el cartílago es relativamente mayor que en el hueso, lo que les confiere gran resistencia a los vectores de fuerza por lo que tienen a sufrir lesiones por avulsión (Ringler y Murthy, 2015; Shahabpour y cols. 2021).

- Los ligamentos de la hilera proximal son el ligamento escafosemilunar (SLIL) y el ligamento lunopiramidal (LTIL). Proporcionan flexibilidad en toda la hilera y junto con los huesos forman una interfase continua que separa e independiza los espacios radiocarpiano y mediocarpiano.
- Los ligamentos de la hilera distal son el trapecio-trapezoidal, trapecoide-hueso grande y hueso grande-ganchoso. No se extienden hacia la cápsula dorsal ni volar de la muñeca, por lo que permiten la comunicación normal entre el espacio mediocarpiano y el espacio carpometacarpiano (Zlatkin y Rosner, 2004, Viegas y Ballantyne, 1987).
- Los ligamentos intrínsecos que conectan huesos de las dos hileras son el ligamento piramidal-hueso grande, el piramidal-ganchoso, los ligamentos del área escafo-trapecio-trapezoidal y el escafo-hueso grande (Gheno y cols. 2010).

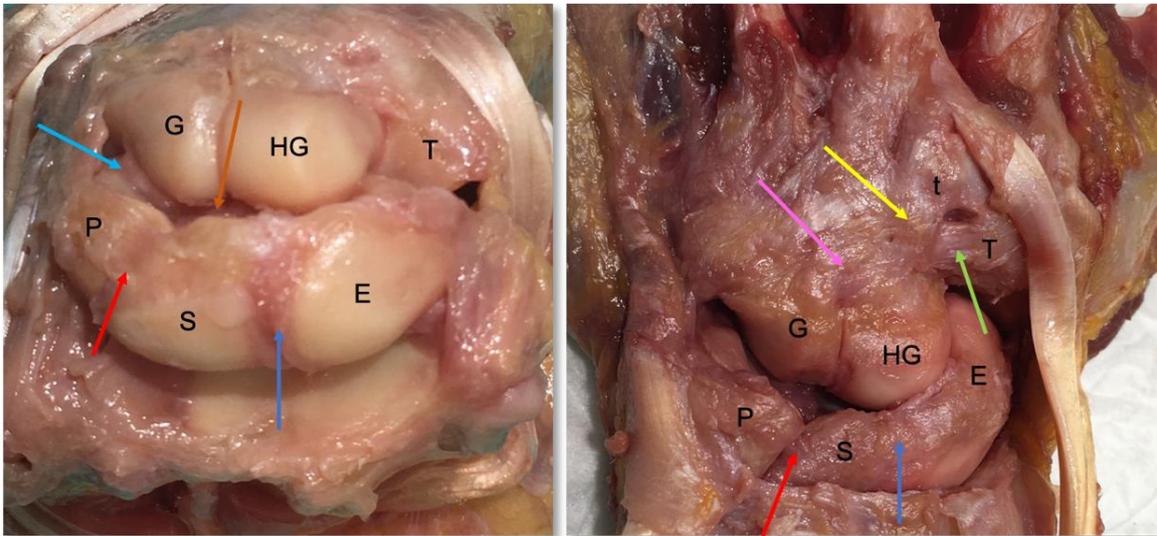


Fig. 18: Ligamentos carpianos intrínsecos: Flecha azul: SLIL; Flecha roja: LTIL; Flecha verde: Ligamento trapecio-trapezoidal; Flecha amarilla: Ligamento trapecoide-hueso grande; Flecha rosa: Ligamento hueso grande-ganchoso; Flecha celeste: Ligamento piramidal-ganchoso; Flecha marrón: Ligamento piramidal-hueso grande; Flecha gris: Ligamento escafo-hueso grande; E: Escafoides; S: Semilunar; P: Piramidal; T: Trapecio; HG: Hueso grande; G: Ganchoso. Cortesía del Prof. Hernández Cortés.

- Ligamento Escafosemilunar:

Conecta las superficies articulares cubital del escafoides y radial del semilunar. Es el ligamento interóseo de la hilera proximal más importante. Tiene forma de C, mide aproximadamente 18 mm de longitud y tiene entre 2-3 mm de grosor en condiciones normales. Presenta tres regiones claramente diferenciadas: dorsal (más gruesa y robusta), volar y proximal o membranosa. Su estructura anatómica e histológica se detallarán más adelante (Daunt, 2002, Berger y cols, 1999).

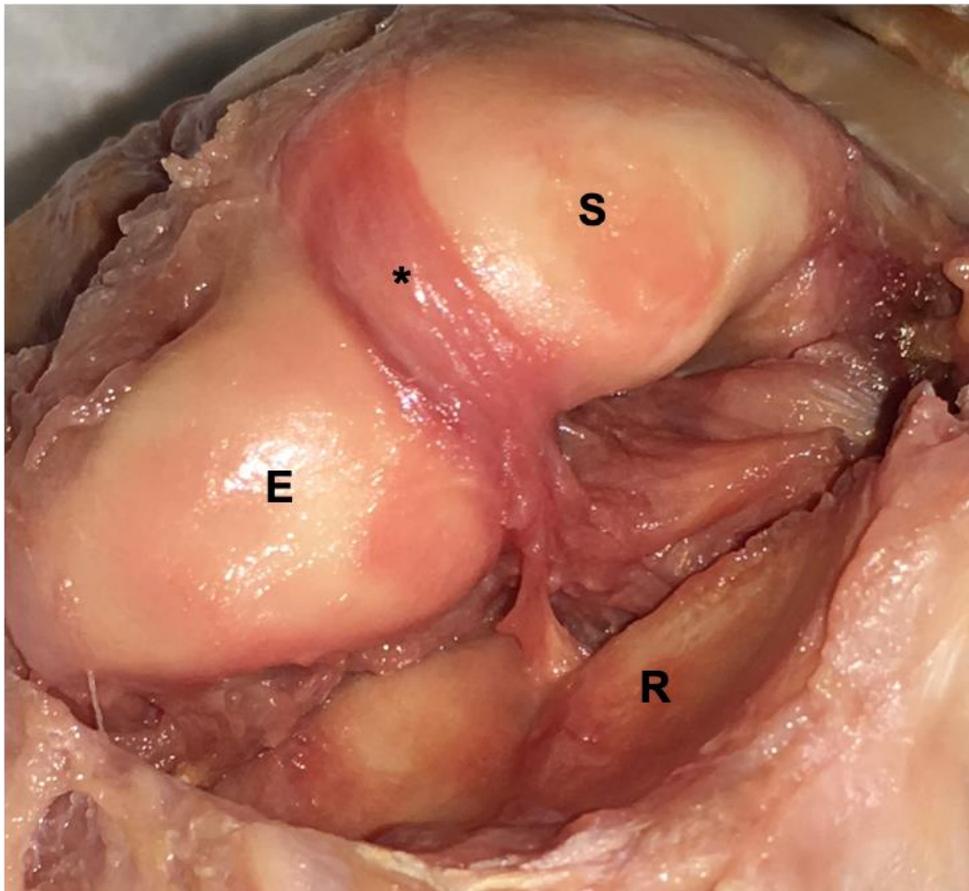


Fig 19: Ligamento escafosemilunar (*). E: Escafoides. S: Semilunar. R: Cavidad sigmoidea del radio distal. Cortesía del Prof. Hernández Cortés.

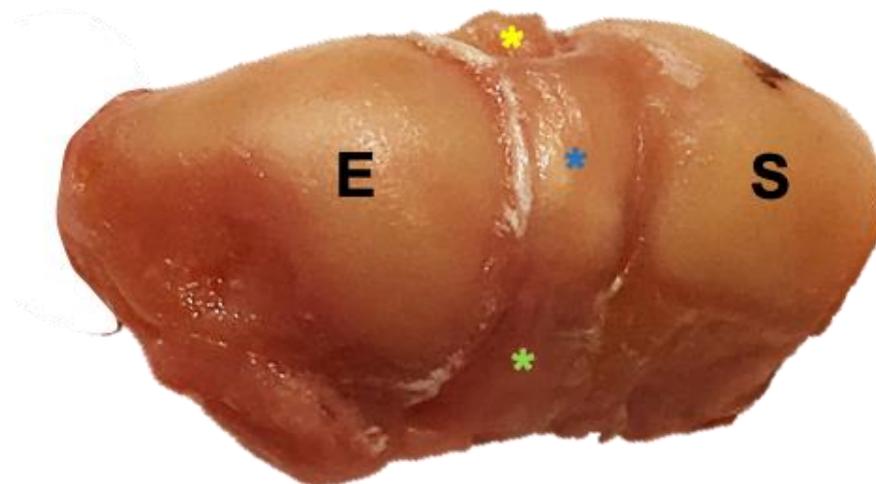


Fig. 20: Regiones del ligamento escafosemilunar: * : Dorsal; * : Volar; * : Membranosa.
E: Escafoides. S: Semilunar. Cortesía del Prof. Hernández Cortés.

- Ligamento Lunopiramidal:

El ligamento lunopiramidal (LTIL) conecta las superficies articulares cubital del semilunar con la radial del piramidal. Con respecto al SLIL, tiene una longitud algo mayor, midiendo aproximadamente 20 mm en promedio, y presenta forma de V; también podemos diferenciar 3 segmentos histológica y fisiológicamente distintos: dorsal, proximal y volar; sin embargo, al contrario que en el SLIL, el segmento volar del LTIL es más grueso, resistente y potencialmente más relevante que el segmento dorsal, que es más fino y vulnerable. (Daunt, 2002). Las porciones volar y dorsal del ligamento lunopiramidal se tensan más que sus análogas del SLIL durante todos los arcos de movilidad del carpo, por lo que entre ambos ligamentos existe una estrecha relación cinemática (Kijima y Viegas, 2009).

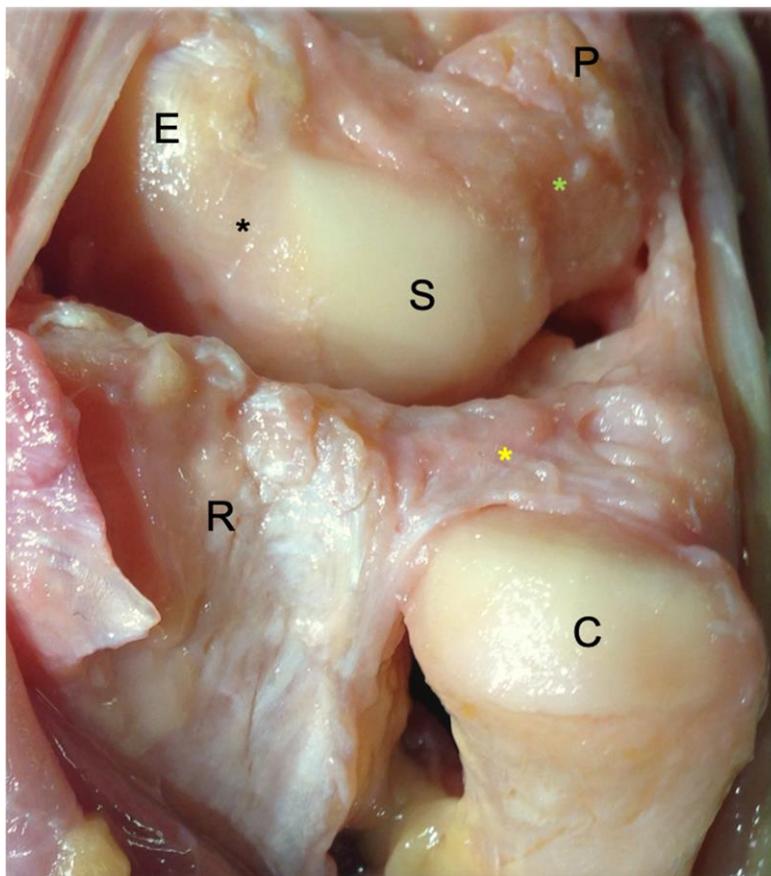


Fig 21: * Ligamento lunopiramidal. E: Escafoides; S: Semilunar; P: Piramidal; R: Radio; C: Cúbito; * SLIL; * Fibrocartilago triangular. Cortesía del Prof. Hernández Cortés.

- Región dorsal: es la porción más delgada del ligamento; su grosor oscila de 1 a 1,5 mm. Está formado por fibras de colágeno con disposición transversal con arquitectura de verdadero ligamento histológico. Está cubierto por el ligamento radiocarpiano dorsal (Berger, 2001).
- Región volar: Es el segmento más robusto llegando a medir hasta 2,5mm de grosor. Está compuesto por fascículos de colágeno orientados transversalmente que se entrelazan con el ligamento cúbito-hueso grande. Se origina en el aspecto distal y cubital del semilunar y se une distal a la inserción del ligamento cúbitolunar. Se entrelaza parcialmente con la porción membranosa pero permanece como una estructura independiente. En su recorrido se relaciona con parte del ligamento radiopiramidal (Nagao y cols, 2005, Ritt y cols. 1998).

- Región proximal: Es la porción membranosa, análoga estructural y funcionalmente a la porción membranosa del SLIL, pero mucho más fina, con un grosor similar de 1-1,5 mm, similar a su porción dorsal. Se compone de fibrocartílago y se invagina al espacio intraarticular lunopiramidal como una proyección meniscal (Shin y cols. 2000).

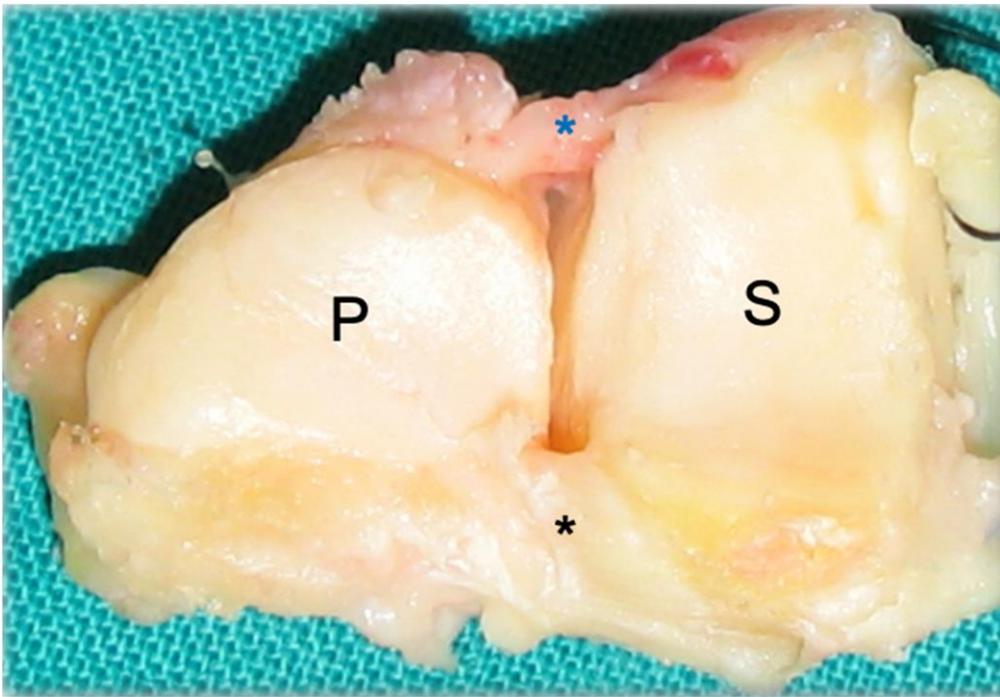


Fig. 22: Regiones del ligamento lunopiramidal: *: Volar, gruesa y robusta; *: Dorsal, delgada; S: Semilunar; P: Piramidal. Cortesía del Prof. Hernández Cortés.

- Ligamentos del área escafo-trapecio-trapezoidal (STT)

Son un conjunto de ligamentos formados por fibras de colágeno que conectan el polo distal del escafoide, el aspecto proximal del trapecio y el margen radial del trapezoide. Tienen un grosor de 1,4 - 2 mm. El complejo de ligamentos STT consta de 4 componentes: el ligamento escafo-trapecial radiopalmar, la cápsula escafo-trapezoidal palmar, la cápsula escafo-trapecio-trapezoidal dorsal y el ligamento escafo-hueso grande (Higashigaito y cols, 2022).

La porción volar del ligamento escafo-trapecial es el principal estabilizador del área STT. Consta de 2 fascículos que se originan en el aspecto, radial y palmar del tubérculo del escafoides. Las fibras de este ligamento se extienden y divergen distalmente, formando una V y se unen al aspecto radial y proximal del trapecio, respectivamente. A nivel volar se entrecruzan con el ligamento radio-escafo-hueso grande (Drewniany y cols, 1985, Bettinger y cols, 1999).

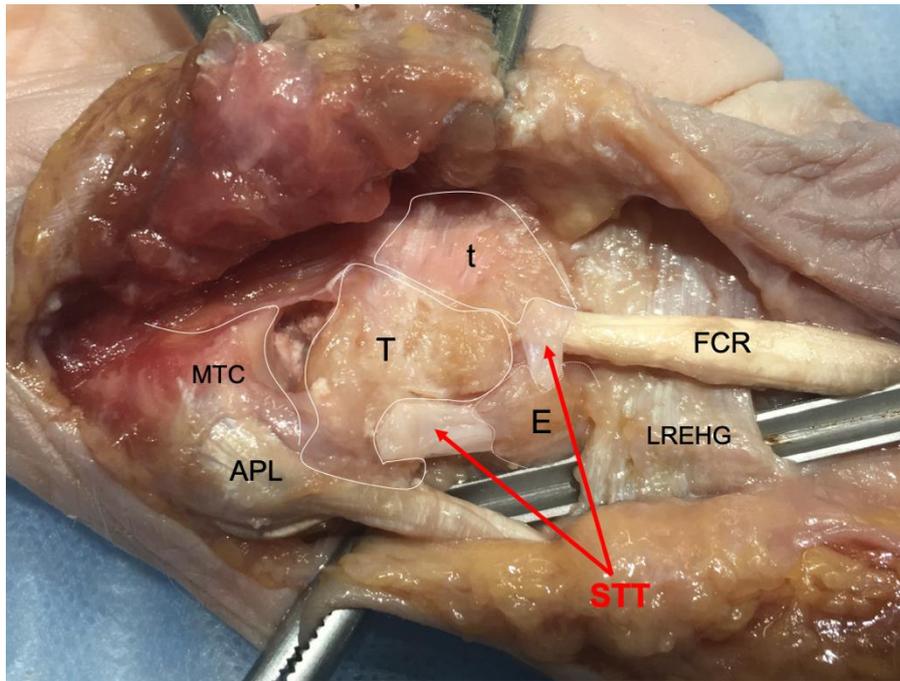


Fig 23: Ligamentos del área STT (Flechas rojas: ligamento escafo-trapecial y escafo-trapezoidal); LREHG: Ligamento radio-escafo-hueso grande; FCR: Tendón flexor carpi radialis; APL: tendón abductor pollicis longus; MTC: Primer metacarpiano; E: Escafoides; T: Trapecio; t: trapezoide. Cortesía del Prof. Hernández Cortés.

i. Ligamentos extrínsecos

Los ligamentos extrínsecos tienen su origen en el antebrazo y en los metacarpianos y su inserción en los huesos del carpo y estructuras periarticulares, a las que actúan como refuerzos. Tienen un trayecto más largo, lo cual unido a su configuración histológica con una mayor cantidad de fibras elásticas hace que tiendan a lesionarse sufriendo roturas en su porción media (Bateni y cols, 2013). Podemos dividirlos en dorsales y volares.

- *Ligamentos volares*

- a) De la columna radial:

Se originan en el extremo palmar del radio distal y se insertan distalmente en los huesos del carpo. Son restrictores primarios a la traslación cubital del carpo y estabilizadores indirectos del escafoides y del semilunar.

- Ligamento radio-escafo-hueso grande: se origina en la estiloides radial hasta el centro de la fosa escafoidea, discurre en sentido oblicuo hacia el centro del carpo atravesando el escafoides a nivel de su cintura y del polo proximal, donde envía una gran cantidad de expansiones que se insertan de forma variable en la cortical volar para terminar en el centro de la cortical volar del hueso grande donde sólo terminan el 10% de sus fibras. Se interdigita distalmente con fibras del ligamento cúbito-hueso grande. Por su trayecto, actúa como restrictor al desplazamiento volar del escafoides a modo de cincha de contención o cinturón de seguridad (Timins y cols. 1995).
- Ligamento radio-lunar largo: se origina en la estiloides radial inmediatamente cubital al origen del ligamento radio-escafo-grande. Discurre en sentido distal y para insertarse en la cortical palmar del semilunar en su vertiente más radial y envía expansiones al piramidal, donde también se inserta, por lo que también se conoce como ligamento radio-luno-piramidal. Puede tener un solo fascículo o dos, dividiéndose en este caso en forma de V para insertarse en el semilunar y en el piramidal respectivamente. Se interdigita con la porción volar del LTIL. Actúa como restrictor a la traslación volar del semilunar (Zlatkin y Rosner, 2004; Bateni y cols, 2013).

- Ligamento radio-lunar corto: Se origina en todo el borde volar de la fosa semilunar del radio distal y discurre longitudinalmente para insertarse en la mitad radial de la cortical volar del semilunar. Es un ligamento muy delgado. Se interdigita íntimamente con la cápsula articular volar de la muñeca, con la que puede ser indistinguible (Brown y cols. 1998).
- Ligamento colateral radial: o ligamento radioescafoideo, es un ligamento muy delgado que se origina en la apófisis estiloides del radio y se inserta en la cintura y el tubérculo del escafoides y en el tendón *flexor carpi radialis*. Su existencia como verdadero ligamento es controvertida; algunos autores defienden su reemplazo en estructura y función por el tendón *abductor pollicis longus* (Kauer, 1980).
- Haz radio-escafo-lunar: Clásicamente se ha considerado como un ligamento; sin embargo, no interviene en la mecánica del carpo. Actualmente no se considera un verdadero ligamento, y su función estabilizadora es controvertida. Realmente es un refuerzo fibroso que une las estructuras óseas en las que se origina e inserta y actúa como desfiladero de estructuras neurovasculares de la muñeca (Kijima y Viegas, 2009).

b) De la columna cubital:

- Ligamentos cúbito-lunar y cúbito-piramidal: se originan en el ligamento radiocubital volar del complejo fibrocartílago triangular (TFCC), y forman parte de la región anterior y cubital de la cápsula articular cúbitocarpiana. Están interdigitados y son indistinguibles entre sí. El ligamento cúbito-lunar se inserta en la cortical volar del semilunar en su vertiente más cubital, y el cúbito-piramidal en la cortical volar y proximal del piramidal. A veces el ligamento

cúbitopiramidal puede enviar algunas fibras que también se insertan a la estiloides cubital (García Elías, 1998; Bateni y cols, 2013).

- Ligamento cúbito-hueso grande: Se origina en la fovea de la cabeza cubital. Es superficial a los 2 ligamentos anteriores. Refuerza a la porción volar del ligamento lunopiramidal y discurre en sentido radial y oblicuo distal a la articulación mediocarpiana para insertarse en la vertiente cubital de la cortical volar del hueso grande (Mak y cols, 2012; Berger, 2001).
- Ligamento colateral cubital: al igual que el ligamento colateral radial, su existencia como verdadero ligamento es controvertida. Algunos autores lo reemplazan en estructura y función por el tendón *extensor carpi ulnaris* (Kauer, 1980).

c) De la columna media:

En el centro del carpo, los dos ligamentos más importantes son el ligamento arcuato y el deltoideo. Ambos tienen forma de V y refuerzan la zona capsular central donde existe mayor debilidad, conocida como espacio de Poirier, que coincide con el fondo del túnel carpiano, y a través del cual se produce la dislocación semilunar volar. Estos dos ligamentos a lo largo de su recorrido en sentido distal se van interdigitando entre sí con mayor intimidad, hasta el punto de ser indistinguibles a nivel de sus inserciones a nivel de la cortical volar del hueso grande (Frane y Goldenberg, 2023; Hargreaves, 2016).

- Ligamento arcuato: está compuesto por la interdigitación de dos fascículos: el radial es el ligamento escafo-hueso grande y el cubital el ligamento ganchoso-piramidal (Nagao y cols 2005).

- Ligamento deltoideo: Tiene forma de V invertida y está formado por la interdigitación de dos fascículos: El segmento radial lo forma el ligamento radio-escafo-hueso grande y el segmento cubital el ligamento cúbito-hueso grande. Distalmente, las fibras de ambos se interdigitan transversalmente sobre la cabeza del hueso grande formando un refuerzo análogo a un labrum (Taleisnik, 1976).

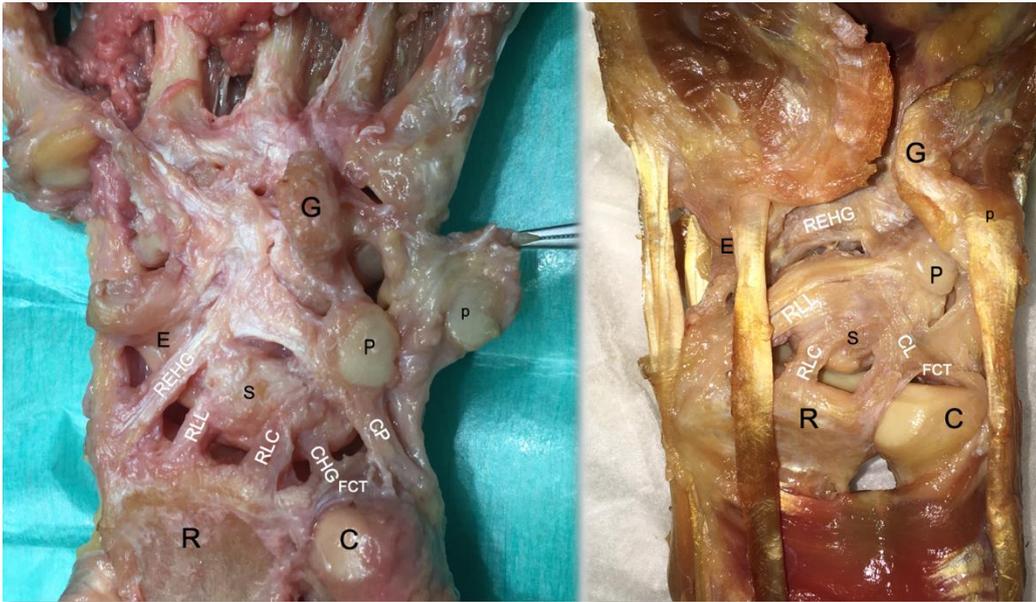


Fig 24: Ligamentos extrínsecos volares del carpo: REHG: Ligamento radio-escafo-hueso grande; RLL: Ligamento radiolunar largo; RLC: Ligamento radiolunar corto; CHG: Ligamento cúbito-hueso grande; CP: Ligamento cúbitopiramidal; FCT: Fibrocartílago triangular; CL: Ligamento cúbitolunar; E: Escafoides; S: Semilunar; P: Piramidal; p: pisiforme; G: Hueso Grande; R: Radio; C: Cúbito. Cortesía del Prof. Hernández Cortés.

- o *Ligamentos dorsales*

- Ligamento dorsal radiocarpiano: El ligamento radiocarpiano dorsal o ligamento radiopiramidal se origina en el aspecto dorsal del radio distal con una base ancha de origen que abarca desde el tubérculo de Lister hasta la cresta delimitante de la fosa escafoidea y semilunar. Transcurre en sentido medial, oblicuo y distal sobre el dorso del semilunar donde envía fibras que se insertan, y el resto de fibras se terminan insertando en la cresta dorsal del piramidal (Mizuseki e Ikuta, 1989).

- Ligamento dorsal intercarpiano: Se origina en la cresta dorsal del piramidal, discurre radialmente y se inserta en el aspecto dorsal del escafoides. Durante su recorrido, envía fibras que se insertan en la cortical dorsal del semilunar, en el trapecio (variable en la población), y a las porciones dorsales del SLIL y del ligamento lunopiramidal. Es un ligamento con gran variabilidad anatómica y se ha descrito su morfología en varios fascículos de forma inconstante y variable (Viegas y cols, 1999). Los ligamentos intercapiano dorsal y radiocarpiano dorsal interseccionan en la cortical dorsal del piramidal. Juntos forman una estructura en forma de V que actúa como estabilizador de la articulación escafosemilunar como restrictor a la traslación dorsal del carpo. La lesión de esta estructura conlleva concretamente a la inestabilidad dorsal del semilunar (Elsaidi y cols, 2004).
- Ligamento radiocubital dorsal: conecta el radio y el cúbito a nivel de la articulación radiocubital distal y refuerza el TFCC.

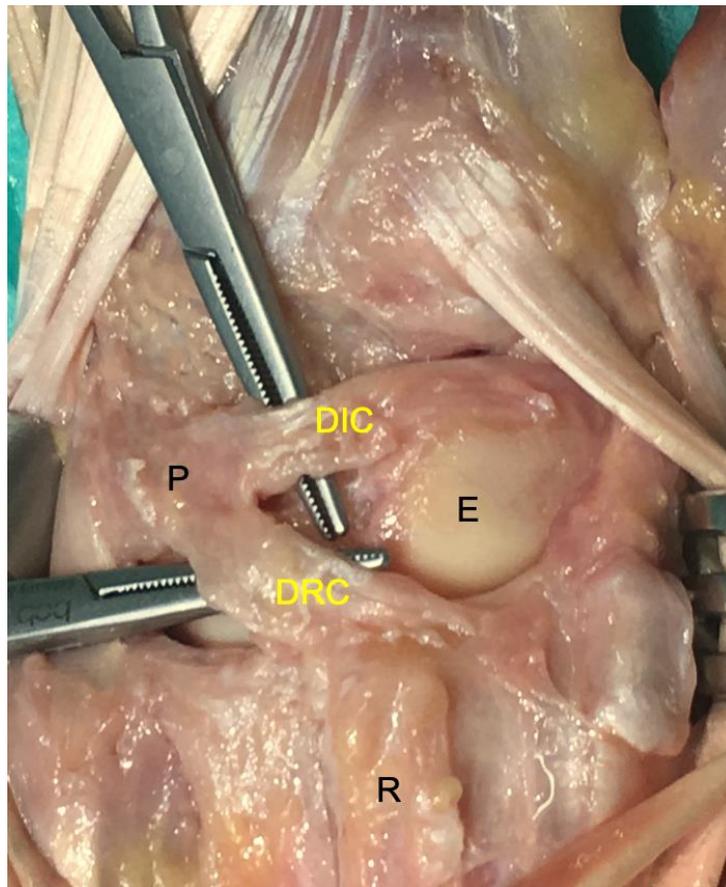


Fig. 25: Ligamentos extrínsecos dorsales del carpo: DIC: Ligamento dorsal intercarpiano; DRC: Ligamento dorsal radiocarpiano; R: Radio; E: escafoides; P: Piramidal. Cortesía Prof. Hdez Cortés.

2.1.2 Fisiología del carpo: Biomecánica, cinética y cinemática

a) Cinemática

La cinemática es la parte de la mecánica que estudia los tipos de movimiento sin atender las causas que lo producen.

El complejo articular de la muñeca es una unidad anatómica muy compleja y precisa del sistema osteoarticular humano. Para poder realizar movimientos que requieren gran amplitud y precisión, necesita la combinación de varios vectores de fuerzas y a su vez, la capacidad de soportar grandes tensiones sin que se produzca claudicación en la acción. Esto es posible gracias a: (Kaufmann y cols, 2006)

- La anatomía de las superficies articulares, que permite los grados de movimiento.
- El potente entramado ligamentoso, que confiere estabilidad.
- El complejo sistema tendinoso que actúa como motor.

La movilidad de la muñeca es por tanto la suma de la movilidad de las articulaciones que la forman: (Herzog, 1960)

- Articulación radiocubital distal: es un trocoide que permite la pronosupinación en el eje longitudinal del antebrazo con 180° de rango articular.
- Articulación radiocarpiana: es elipsoidea o condílea (Fig. 26).

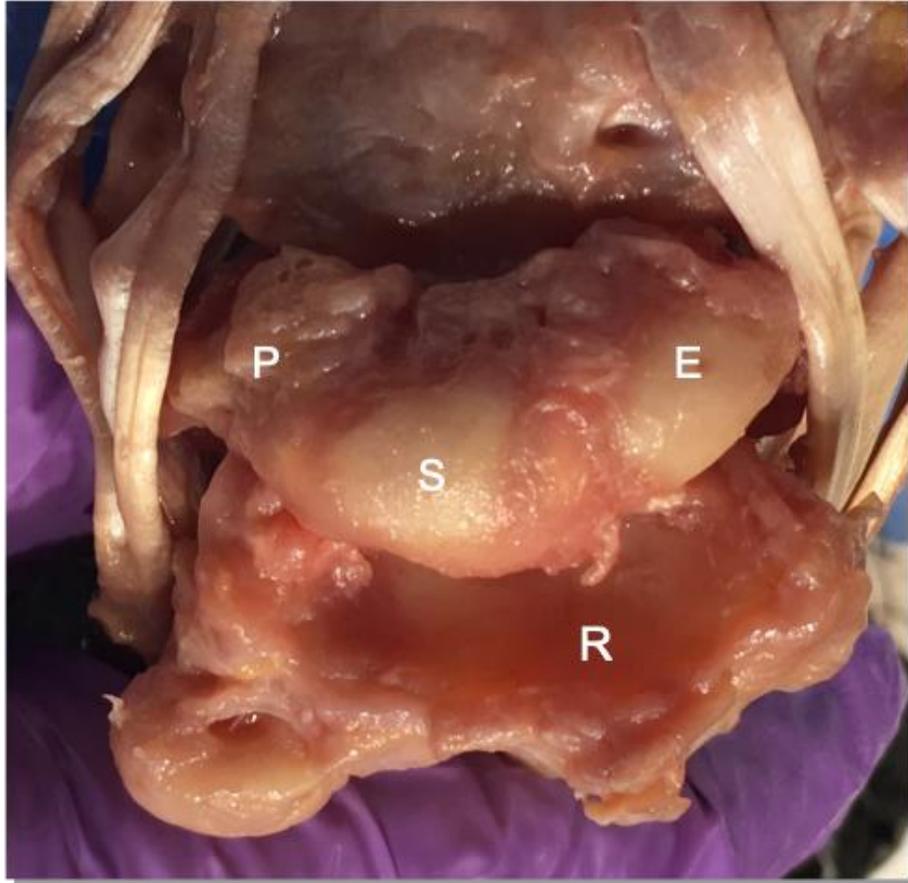


Fig. 26: Articulación radiocarpiana. E: Escafoides; S: Semilunar; P: Pisiforme.
Cortesía del Prof. Hernández Cortés.

- Articulaciones intercarpianas: son artrodiales. La cabeza del hueso grande forma un pivote central sobre el que el hueso semilunar puede bascular en dos direcciones: lateralmente, y en sentido anteroposterior, con mayor grado de báscula.

- La articulación mediocarpiana: es una condiloartrosis. Los huesos de la primera hilera están unidos mediante articulaciones artrodiales y por dos membranas interóseas para mejorar su movilidad. Los huesos de la segunda hilera también se relacionan mediante articulaciones artrodiales aunque con una movilidad más limitada por estar unidos por potentes ligamentos tanto intrínsecos como extrínsecos (Fig. 27).

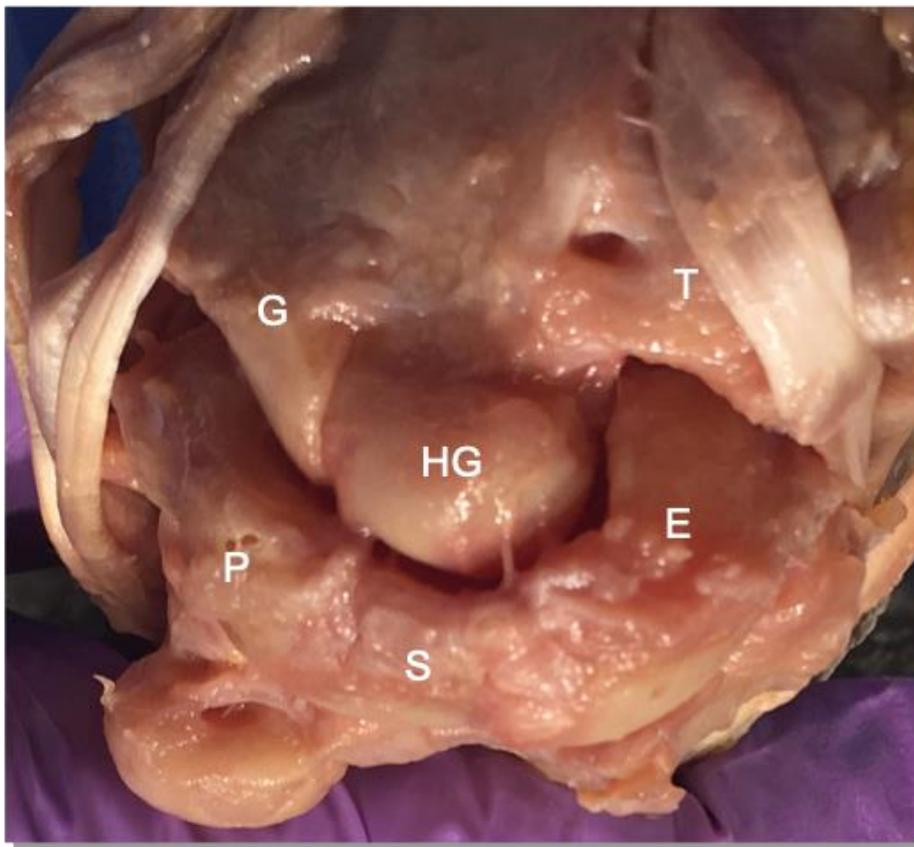


Fig. 27: Articulación mediocarpiana. E: Escafoides; S: Semilunar; P: Pisiforme; T: Trapecio; HG: hueso grande; G: Ganchoso. Cortesía del Prof. Hernández Cortés.

- Articulaciones carpometacarpianas: Relacionan la base de los metacarpianos con los huesos de la hilera distal, formando una unidad funcional en la que se origina el movimiento de la muñeca por contar con la inserción de las unidades motoras procedentes del antebrazo. Están firmemente estabilizadas por potentes ligamentos (Fig. 28).

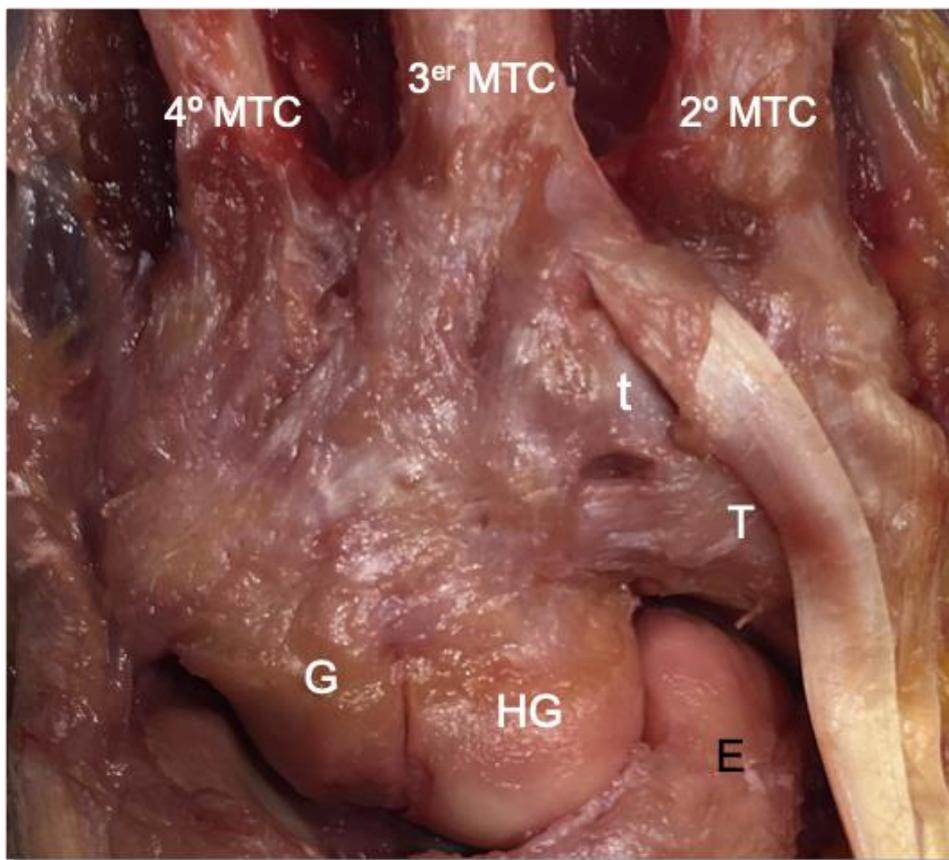


Fig. 28: Articulaciones carpometacarpianas. E: Escafoides; T: Trapecio; t: Trapezoide; HG: Hueso grande; G: Ganchoso; MTC: Metacarpianos. Cortesía del Prof. Hernández Cortés.

La muñeca se comporta como un sistema condíleo con dos grados de movilidad: siguiendo un eje transversal en el que realiza movimientos de flexión y extensión, y un eje longitudinal en el que realiza movimientos de inclinación radial y cubital (Eschweiler y cols, 2022). Por su configuración anatómica, la muñeca no tiene capacidad para realizar la rotación por sí misma; sin embargo, la mano puede conseguir la rotación en ambos sentidos al sumarse a la movilidad intrínseca del carpo un tercer grado de movilidad en el plano sagital conferido por la pronosupinación del antebrazo. De la suma de todos movimientos en torno a estos ejes, se puede realizar la circunducción. Por este motivo la mano tiene la capacidad de orientarse en cualquier posición y puede conseguir prácticamente cualquier

grado de movimiento para la consecución de su principal función: realizar la prensión y la manipulación de los objetos (Moore y cols, 1993).

Se conoce como “movimiento de lanzador de dardos” al movimiento que realiza la muñeca en un plano oblicuo-sagital siguiendo la dirección de extensión-desviación radial hacia flexión-desviación cubital (Moritomo y cols (2007), (Fig. 29). En los movimientos que se realizan siguiendo en el plano sagital de flexo-extensión y el transversal de desviación radial-cubital, las dos hileras se mueven de forma sincrónica. Sin embargo, por la disposición de los tendones que mueven la muñeca, que es oblicua entre antagonistas (Fig. 30), siguiendo el eje oblicuo-sagital la hilera proximal del carpo se mantiene fija y el movimiento que se produce entre el escafoides y el semilunar es prácticamente inexistente; el movimiento se produce fundamentalmente a través de la articulación mediocarpiana. Esto confiere a la muñeca una plataforma suficientemente estable para el desarrollo de actividades de agarre que requieran fuerza y precisión (Werner y cols, 2016). El arco del lanzamiento de dardos representa el plano funcional de movimiento de la muñeca más habitual en las actividades ocupacionales o aficiones deportivas (Werner y cols, 1997).

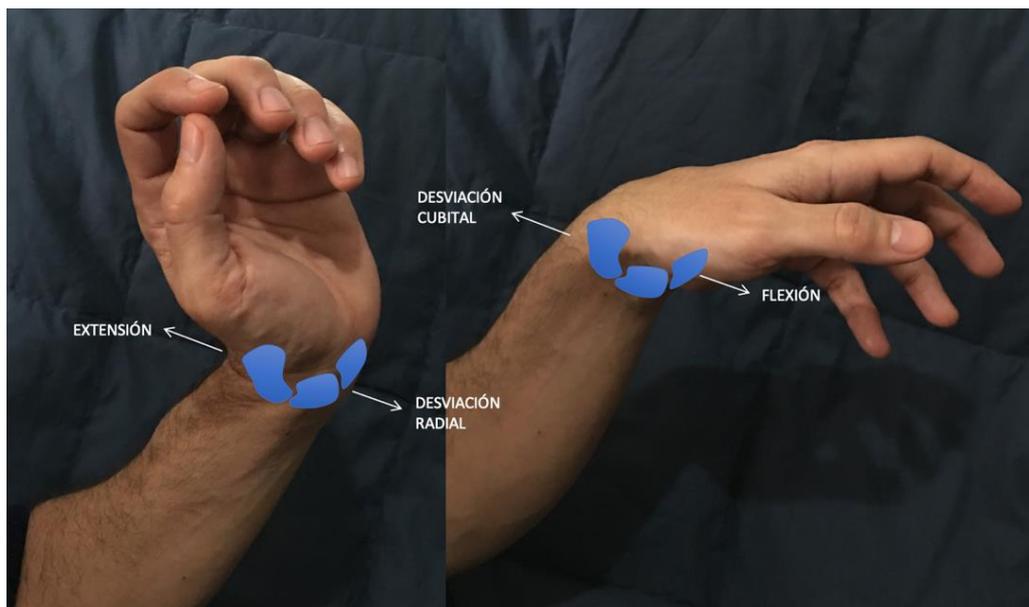


Fig. 29: Movimiento de “lanzador de dardos”

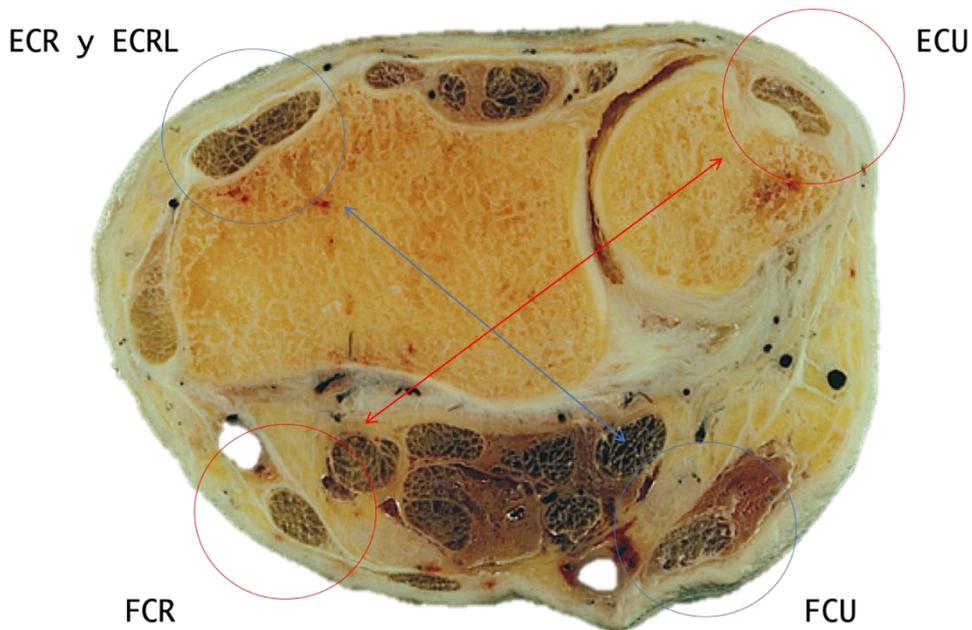


Fig. 30: Corte transversal de la muñeca. Se observa la disposición oblicua de los tendones antagonistas **FCR-ECU (flecha roja)** y **FCU-ECR y ECRL (flecha azul)**. Cortesía del Prof. Manuel Llusá Pérez, Departamento de Anatomía de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Los ligamentos interóseos de los cuatro huesos de la hilera distal y los ligamentos que estabilizan las articulaciones trapecio-hueso grande y las articulaciones hueso grande con 2º y 3º metacarpianos son muy robustos, lo que hace que la conexión entre ellos sea muy fuerte y que el grado de movimiento de estas articulaciones por sí mismas sea mínimo, prácticamente nulo. Su movilidad es posible gracias a la acción de fuerzas externas transmitidas al carpo mediante inserciones músculotendinosas procedentes del antebrazo. La hilera distal por ello se considera una unidad funcional con los metacarpianos. La hilera proximal carece movimiento propio porque no posee inserciones músculotendinosas. Su movimiento es posible gracias a la acción motora que actúa sobre la hilera distal como guía, y se restringe por los contornos óseos de la superficie articular del radio distal y de los ligamentos circundantes (Wesel y Wolfe, 2023). Al quedar interpuesta entre el antebrazo

proximalmente y la hilera distal-metacarpo distalmente, la hilera proximal se denomina como “segmento intercalado” (Landsmeer, 1968) (Fig. 31).

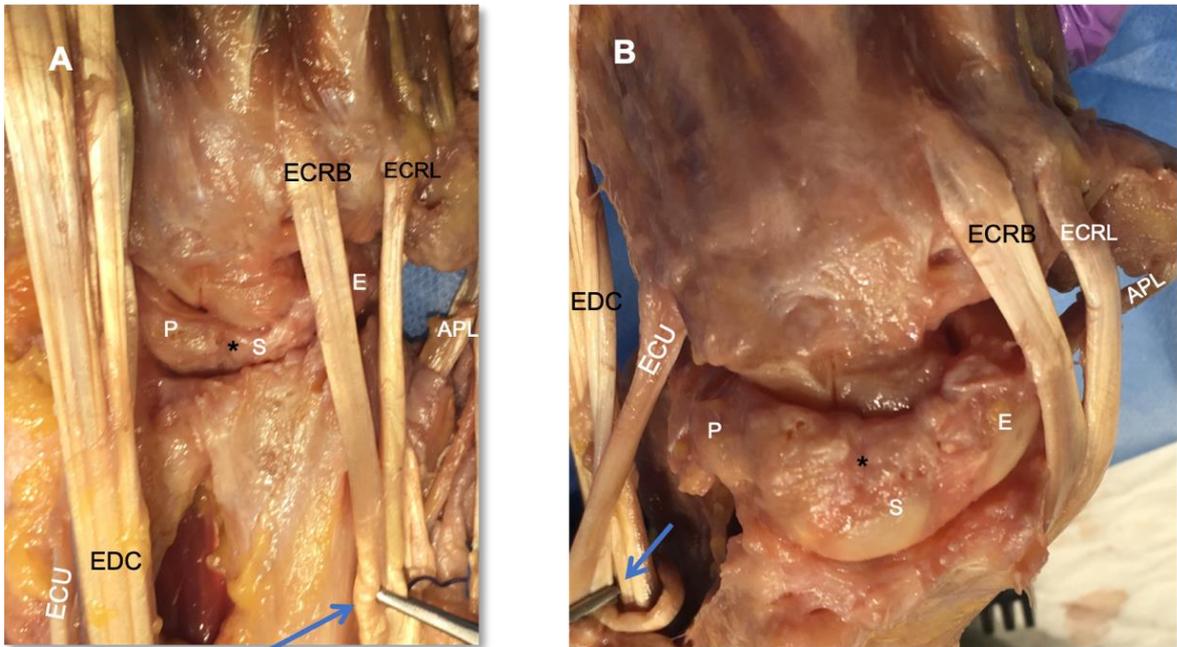


Fig. 31: Segmento intercalado (*) formado por la primera hilera del carpo: E: Escafoides. S: Semilunar. P: Piramidal; ECRB: Extensor carpi radialis brevis; ERCL: Extensor carpi radialis longus; ECU: Extensor carpi ulnaris; EDC: Extensor digiti communis; APL: Abductor pollicis longus. Se observa cómo bajo tracción ECRL y ECRB el movimiento se origina en la segunda hilera que se desvía en sentido dorso-radial y cómo bajo tracción del ECU se desvía en sentido dorsocubital; el segmento intercalado se adapta a los movimientos porque carece de inserciones tendinosas. Cortesía del Prof. Hernández Cortés.

A medida que la mano gira en sentido radial, el movimiento del trapecio y el trapecoide favorecen la inclinación del escafoides y el estrechamiento de la distancia entre el carpo y la estiloides radial, forzando al polo distal del escafoides a la flexión. El SLIL y el LTIL se tensan y dirigen al semilunar y al piramidal a seguir su recorrido tendiendo hacia la flexión. Al contrario, en la desviación cubital todo el carpo se extiende, la superficie articular helicoidal del ganchoso se ensambla a la superficie articular del piramidal y, a través de un acople en forma de tornillo, dirige el piramidal a una posición de inclinación dorsal (Weber,

1984) que se transmite por los ligamentos lunopiramidal y escafosemilunar a toda la primera hilera.

Durante la flexoextensión de la muñeca, los tres huesos de la hilera proximal giran como una unidad, aunque en diferentes grados. En los movimientos de extensión, el semilunar y el escafoides tienden a extensión a través de un efecto combinado de los ligamentos interóseos y la rotación de la hilera distal en el plano sagital, colocándose en posición de traslación dorsal. Cuando el escafoides y el semilunar se extienden, también actúan fuerzas de traslación radial; sin embargo, cuando se flexionan, existe poca traslación (Wolfe y cols, 2000).

El semilunar es la piedra angular para la comprensión de la cinemática de la muñeca. Su estabilidad se debe a su ubicación entre los elementos estables del carpo. Su posición funcional dentro de la hilera proximal está determinada principalmente por las presiones de contacto radiopiramidal (proximal), articulación hueso grande-semilunar (distal), por la tensión del ligamento escafo-semilunar (radial) y del ligamento lunopiramidal (cubital), así como por las fuerzas de contracción de los músculos flexores y extensores que actúan indirectamente sobre él. El escafoides está alineado formando un doble ángulo de aproximadamente 45° con respecto a los planos coronal y sagital. Tanto su orientación oblicua como su longitud hacen que el escafoides sea se comporte como una “manivela deslizante”. En comparación con el semilunar, la superficie articular proximal del escafoides es más curvada, lo que permite que el escafoides gire más extensamente. Los huesos de la hilera proximal se mueven con importantes grados de rotación entre sí, lo cual unido a la configuración del semilunar en forma de cuña en el plano coronal, explica su tendencia inherente a desplazarse en extensión cuando se disocia del escafoides bajo la inercia del piramidal a través del ligamento lunopiramidal intacto (Redeker y Vogt, 2011).

En términos de flexión y extensión total, el movimiento que tiene lugar en las articulaciones radiocarpiana y mediocarpiana es casi equiangular, aunque existe cierta variación entre las articulaciones. La articulación mediocarpiana tiende a proporcionar más extensión y la articulación radiocarpiana más flexión. En la desviación radial, la hilera

proximal del carpo se mueve pasando de extensión a flexión y la hilera distal se flexiona dorsalmente para compensar. Cuando se produce desviación cubital, toda la hilera proximal se extiende suavemente (Murgia y cols, 2004). La flexión máxima es de unos 80° y la extensión máxima de unos 85°. La desviación radial normalmente alcanza los 25°, y la desviación cubital aproximadamente 40°, ambas con un eje que pasa por la cabeza del hueso grande. Sin embargo, la cinemática de la desviación radiocubital es compleja y multiangular, por lo que se combinan varios patrones de movimiento de forma individual (Ruby y cols, 1988).

Se han desarrollado multitud de estudios para intentar explicar el movimiento del carpo, sin embargo, los mecanismos que regulan el grado y la dirección del movimiento de cada hueso carpiano en cada uno de los planos siguen siendo controvertidos. A lo largo de la historia se han sugerido diferentes teorías para caracterizar la cinemática del carpo:

- *Teorías cinemáticas:*

- Johnston (1907): *Teoría de las hileras*: Los huesos carpianos están dispuestos en dos hileras, proximal y distal. Cada una de ellas se mueve como una unidad funcional rígida alrededor de dos articulaciones transversas (radiocarpiana y mediocarpiana) (Kuo y Wolfe, 2008)

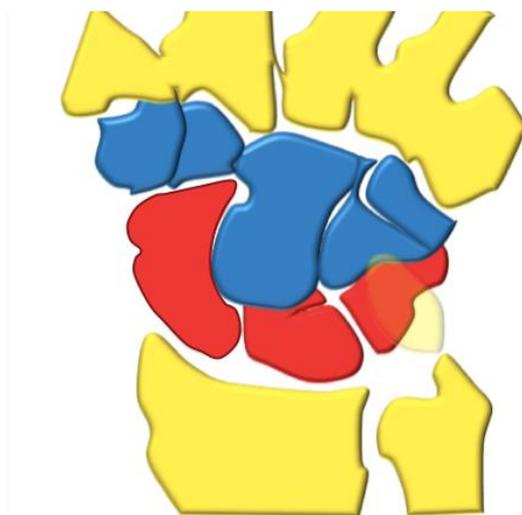


Fig. 32: Teoría de las hileras de Johnston. Rojo: Hilera proximal. Azul: Hilera distal.

- Navarro (1921): *Teoría de las columnas*: Los huesos del carpo están dispuestos en tres columnas verticales interdependientes: 1) La columna central (semilunar, hueso grande y ganchoso) que controla la flexoextensión de la muñeca; 2) La columna lateral (escafoides, trapecio y trapezoide), que controla la transferencia de cargas a lo largo de la muñeca; 3) La columna medial o rotacional (piramidal y pisiforme), que controla la pronosupinación. En esta teoría, el escafoides y el piramidal se consideran partes independientes del movimiento complejo del carpo, y se otorga mucha importancia al piramidal, particularmente en su articulación con la faceta del ganchoso al favorecer los movimientos helicoidales o rotatorios (Navarro, 1921).

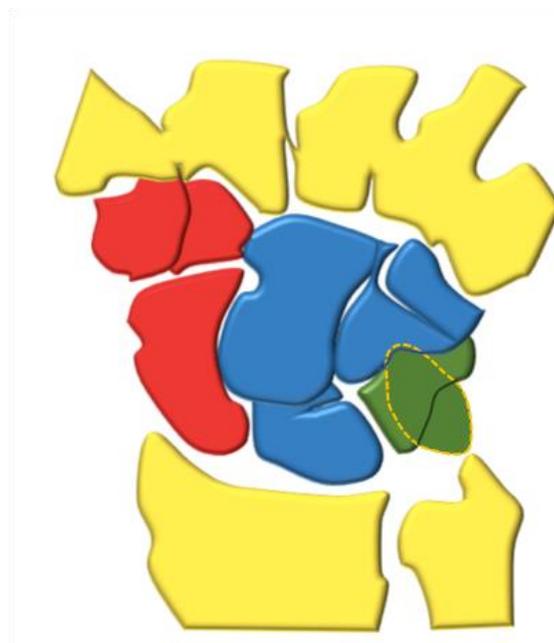


Fig. 33: Teoría de las columnas de Navarro. Rojo: Columna lateral. Azul: Columna central. Verde: Columna medial.

- MacConaill publicó (1941): *Teoría del tornillo o de la abrazadera*: según esta teoría el carpo funciona como una estructura unitaria. MacConaill dividió el carpo bajo un aspecto funcional: el escafoides, los huesos semilunar y piramidal juntos, y una estructura distal formada por el ganchoso, el hueso grande y el trapecio de forma conjunta. El motivo de

separar al escafoides de los otros huesos de la hilera proximal se basa en el hecho de que de que el escafoides, según el movimiento concreto, se mueve con la hilera proximal o con la hilera distal.

MacConaill explicó que el procedimiento de estabilización del carpo en dorsiflexión se produce en dos etapas: En la primera etapa se configura la “abrazadera” estabilizando el escafoides con la hilera distal que actúa mecánicamente como tope. En la segunda etapa, el ganchoso actúa como un “tornillo” para mantener al semilunar junto con el escafoides y lo solidariza a la hilera distal, manteniéndose en su posición durante el tiempo que se mantenga la dorsiflexión (Macconail, 1941).

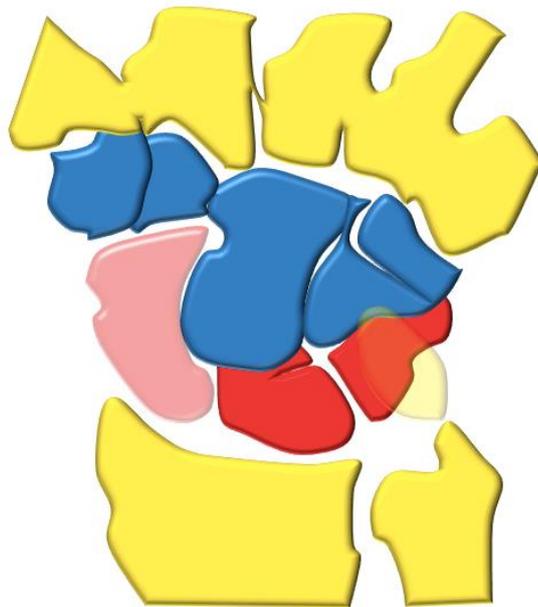


Fig. 34: Teoría del tornillo o de la abrazadera de Macconail. **Azul:** Hilera distal. **Rojo:** Hilera proximal sin escafoides. **Rosa:** Escafoides.

- Gilford y cols (1943): *Teoría de las articulaciones de enlace*: describieron la muñeca como una articulación de enlace. El conjunto de la muñeca se comporta como un sistema en el que el radio, la hilera proximal y la hilera distal son los enlaces individuales

entre las estructuras adyacentes. Según esta teoría, si se aplica una fuerza de compresión, el mecanismo de enlace colapsará y se conducirá al desarrollo de un "patrón de zig-zag" (Gilford y cols, 1943).

- Taleisnik (1976): modificó la teoría de las columnas de Navarro describiendo la *teoría de las filas y de las columnas*. Según esta teoría el pisiforme no tiene función como hueso carpiano, y fue excluido del modelo. Incluyó al trapecio y al trapecoide en parte de la columna central. El movimiento de flexoextensión ocurre a través de la columna central, y los movimientos de desviación radial y cubital se producen por la rotación del escafoides lateralmente y del piramidal medialmente (Taleisnik, 1976; Gelberman y Cooney, 2001).

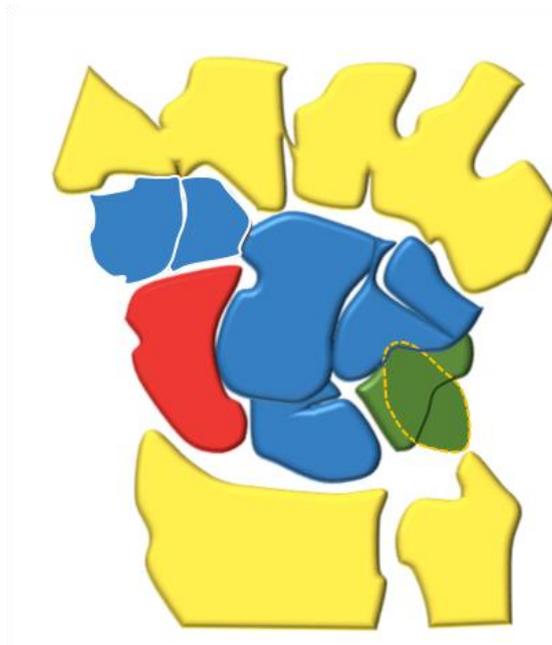


Fig. 35: Teoría de las columnas de Navarro modificada por Taleisnik. **Azul:** Columna medial incluyendo trapecio y trapecoide. **Verde:** Columna medial. **Rojo:** Escafoides.

- Lichtman y cols (1981): *Teoría del anillo oval*: El carpo funciona como un anillo oval formado por cuatro elementos interdependientes (hilera distal, escafoides, semilunar y piramidal), y existe una conexión entre los segmentos adyacentes por uniones ligamentosas. Según este modelo:

- El movimiento de una hilera se produce en la dirección opuesta a la de la otra.
- Una interrupción completa en cualquier punto del anillo ovalado, especialmente de la hilera proximal, provoca la inestabilidad del carpo.
- Existen dos enlaces móviles en el anillo que corresponden a la articulación trapecio-escafoidea y la articulación rotatoria del piramidal-ganchoso.
- Considera el aparato ligamentoso intrínseco: los ligamentos intercarpianos hacen que la hilera proximal gire como una unidad.
- La flexoextensión y la desviación cubital y radial ocurren recíprocamente por la interacción entre las articulaciones radiocarpiana y mediocarpiana (Lichtman y cols, 1981).

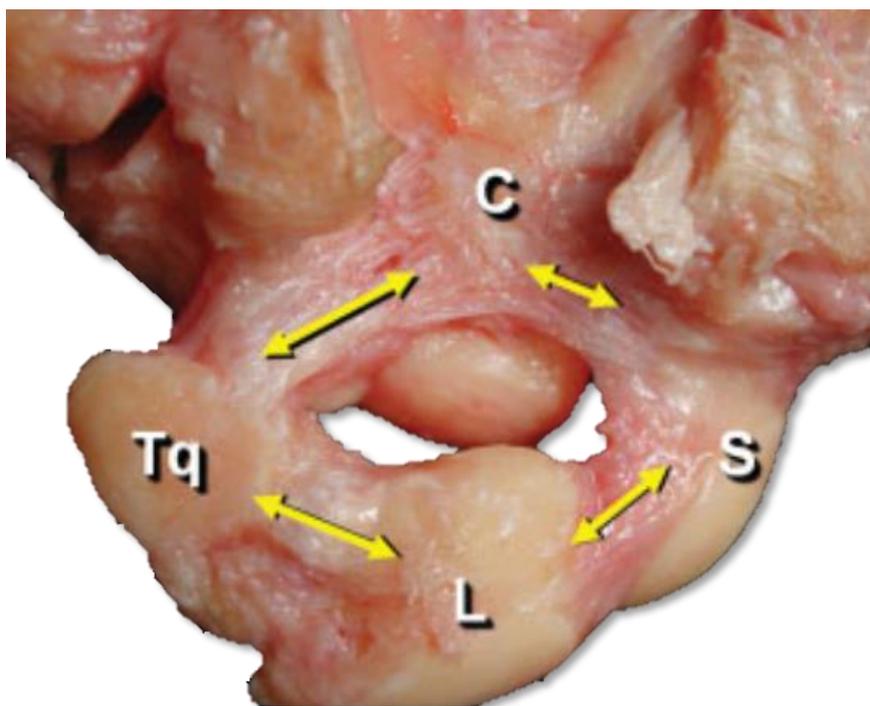


Fig. 36: Teoría del anillo oval de Lichtman . C: Hueso grande (hilera distal). L: Semilunar. S: Escafoides. Tq: Piramidal. Cortesía del Prof. Hernández Cortés. (Lichtman y cols, 1981)

- Weber (1984): *Teoría de las dos columnas*. Existen dos columnas: La columna que soporta carga (hueso grande, trapecoide, escafoides y semilunar) y la columna de control (piramidal y ganchoso). En esta teoría juega un papel clave en la estabilidad la articulación helicoidal entre el piramidal y el ganchoso (Weber 1984).

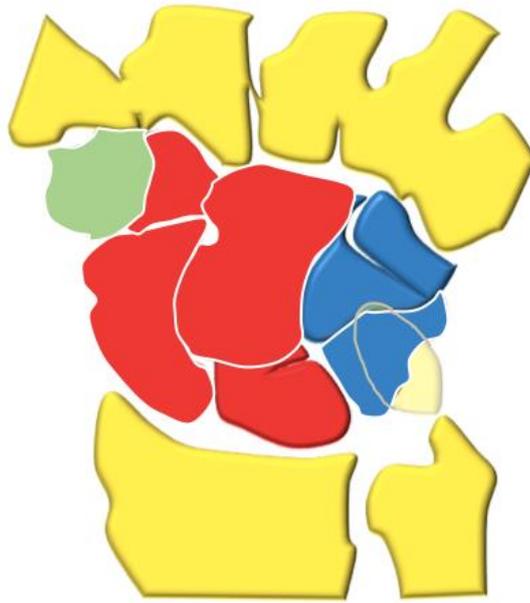


Fig. 37: Teoría de las columnas de Weber. **Rojo:** Columna de carga. **Azul:** Columna de control. **Verde:** Trapecio.

- Craigen y Stanley (1995): Se describen dos patrones de movimiento durante la desviación radiocubital: la hilera proximal rota principalmente a lo largo del plano frontal (patrón de fila) o a lo largo de un plano sagital (patrón de columna) (Craigen y Stanley, 1995).

- Moritomo y cols. (2004): *Teoría de la forma ovoidea o en C*: Describen el carpo como una estructura ovoidea o en forma de C. Se basa en el trazo de una línea que conectaría los centros de las superficies articulares de las articulaciones mediocarpianas; los huesos del carpo pueden moverse dentro de esta estructura, y a su vez mantienen movimientos distintos entre sí dentro de ella. El eje principal de esta estructura se inicia a nivel radiopalmar y discurre en dirección cúbitodorsal.

Según esta teoría, el movimiento a nivel mediocarpiano es la combinación del movimiento de tres tipos de sistemas articulares: 1) la articulación uniaxial entre el escafoides y la hilera distal, 2) la articulación biaxial y elipsoidal entre el semilunar, el piramidal y la hilera distal, y 3) las articulaciones interóseas de la hilera proximal (Moritomo y cols, 2004).

b) Cinética

La cinética es la disciplina que se encarga de analizar movimientos de una estructura bajo la influencia de fuerzas, es decir, considerando también las causas que han favorecido que se haya producido ese movimiento.

La muñeca debe soportar no sólo las cargas aplicadas externamente, sino que también debe resistir las fuerzas internas resultantes de la contracción muscular. El total de todas las fuerzas se transmite a la hilera distal del carpo y desde aquí se transmite y distribuye hacia la hilera proximal. A nivel mediocarpiano, alrededor del 60% de la carga se transmite a través del compartimento escafoides-semilunar-hueso grande; a nivel radiocarpiano, aproximadamente el 50% de la carga se transmite a través de la articulación radio-escafoidea, el 30% a través de la articulación radio-semilunar y el 20% a través del compartimento cubitocarpiano (Garcia-Elias, 1997).

Las fuerzas que soporta la muñeca pueden ser hasta 10 veces más altas que la fuerza aplicada en la punta de los dedos. Se estima que la fuerza máxima que puede soportar la muñeca del hombre es de 520 Kg, y de 52 Kg en agarre. En la mujer se estiman 310 kg de fuerza máxima y 31 Kg de fuerza máxima de agarre (An y cols, 1985).

Los huesos de la hilera distal del carpo se consideran una única unidad funcional debido a las potentes conexiones ligamentosas que poseen. Debido a que ningún tendón

se une a la hilera proximal del carpo, todos los ejes de rotación se ubican en la hilera distal, donde en primer lugar comienzan los movimientos de rotación, que se transmiten a continuación a la hilera proximal. Debido a su configuración anatómica, en la articulación mediocarpiana son posibles movimientos moderados de flexión-extensión del carpo (Ruby y cols, 1988).

Una fuerza de compresión axial a través de la muñeca inducirá la flexión palmar del escafoides y la flexión dorsal del piramidal. Por lo tanto, el piramidal y el escafoides influirán en la posición del semilunar a través de sus respectivos ligamentos, produciendo un equilibrio de fuerzas en el semilunar, siendo su posición predeterminada en ligera dorsiflexión. Este concepto fue descrito por García-Elías como teoría del “balanced lunate” (Fig. 38) (García-Elías y cols. 2006).

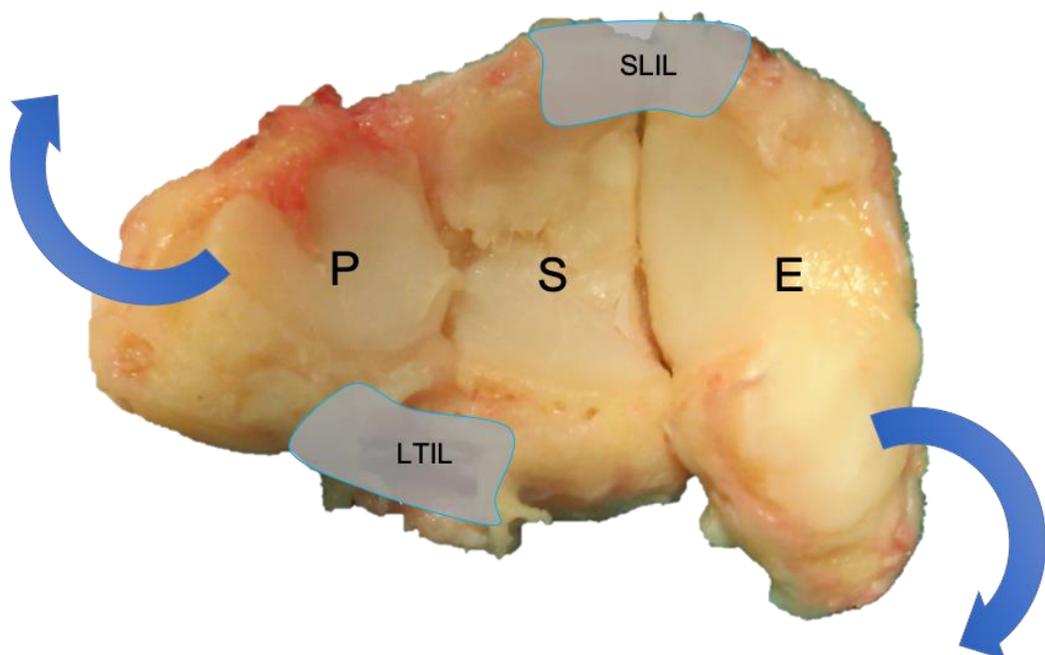


Fig. 38. Teoría del “balanced lunate”. E: Escafoides. S: Semilunar. P: Piramidal. SLIL: Porción dorsal del ligamento escafosemilunar. LTIL: Porción volar del ligamento lunopiramidal. Cortesía del Prof. Hernández Cortés.

En la hilera proximal del carpo actúan fuerzas por pares opuestos. Bajo carga axial, el escafoides se flexiona preferentemente, mientras que el semilunar fundamentalmente, y el piramidal, favorecen la extensión. Los huesos de la hilera proximal, que están menos unidos entre sí, muestran patrones de movimiento sinérgicos, pero cada uno de ellos tiene un determinado grado de movilidad diferente (Melsom y Leslie, 2007).

Debido a su estrecha curvatura proximal, el escafoides puede flexionarse y extenderse unos 30 grados más que el semilunar. Además, por su orientación y su alineación oblicua provoca una transmisión de la carga axial paralela a su extensión longitudinal con dos vectores de fuerza dirigidos en sentido dorsal y proximal:

- El vector de fuerza dorsal es contrarrestado por la inclinación volar de la fosa escafoidea del radio.
 - El vector de fuerza proximal está asociado con una tendencia inherente a la flexión del escafoides que es contrarrestada por el ligamento escafosemilunar, por los estabilizadores secundarios (ligamento escafo-trapezio-trapezoidal y ligamento radio-escafo-hueso grande) y por la tensión del tendón *flexor carpi radialis* (Dobyns y Linscheid, 2004).
- *Bases cinéticas del carpo*
 - Landsmeer (1968): La hilera proximal, como segmento intercalado entre la hilera distal y el radio, ante un exceso de carga axial es propensa a sufrir un colapso en zigzag a menos que esté estabilizada por la disposición oblicua del escafoides (Landsmeer, 1968).
 - Fisk (1970): Introduce el concepto de “deformidad concertina” para hacer referencia a la inestabilidad provocada por la pérdida de función estabilizadora del escafoides como como puente entre la hilera proximal y distal como consecuencia de la lesión ligamentosa (Fisk, 1970).

- Kauer (1974): Bajo carga, el escafoides orientado oblicuamente tiende a rotar en flexión. El semilunar, debido a su configuración en cuña, tiende a rotar en extensión. Si los ligamentos escafosemilunares están intactos, las dos tendencias opuestas tienden a alcanzar un equilibrio estable (Kauer, 1974).

- García-Elías y cols. (2001): describieron el mecanismo de autoequilibrio de la hilera proximal bajo carga como 2 momentos opuestos de flexión y extensión del carpo, provocando que el semilunar quede estabilizado por la tendencia opuesta del escafoides y del piramidal (García-Elías y cols, 2006).

Actualmente existen cada vez más explicaciones derivadas de complejos estudios tridimensionales producto de la tecnología informática y computacional que muestran que la cinética carpiana no se puede explicar adecuadamente la movilidad resultante de la aplicación de una fuerza por una única teoría que agrupe los huesos en hileras o columnas de forma rígida. Aunque estos modelos modernos basados en datos arrojan conclusiones prometedoras para explicar la cinemática carpiana, sus resultados aún no han sido validados (Sandow y cols, 2014).

2.2 Inestabilidad del Carpo

2.2.1 Concepto, epidemiología e importancia socioeconómica

i. Concepto

El concepto de “inestabilidad del carpo” ha sido objeto de infinidad de estudios en los últimos cincuenta años, por lo que su definición ha sufrido innumerables modificaciones hasta el momento actual. Inicialmente, el término "inestabilidad" se consideraba sinónimo de "mala alineación", considerándose que una muñeca era inestable cuando había una alteración de la alineación sagital y/o anteroposterior de los huesos del carpo más allá de lo que se consideraba normal (García Elías, 1997).

El concepto fue introducido en 1972 por Linscheid y cols. (Mayo Clinic, 1972). En su histórico artículo “Traumatic instability of the wrist: diagnosis, classification and pathomechanics” popularizaron el término “inestabilidad carpiana” para denominar diferentes anomalías del carpo con presencia de una desviación del “segmento intercalado” dorsal (DISI) o volar (VISI), y añadieron otros dos tipos de inestabilidad más: la traslación cubital del carpo, y la subluxación dorsal del mismo (Linscheid y cols, 1972).

Aunque el interés en el estudio de las lesiones ligamentosas del carpo se remonta a 1926 cuando Paul y Hoeber desarrollaron el primer estudio radiológico (Destot, 2006, Wesel y Wolfe, 2003), la primera investigación fue realizada en 1967 por Dobyns y Perkins cuando publicaron un primer trabajo sobre la “subluxación rotatoria del escafoides”, concepto íntimamente vinculado con la inestabilidad del carpo (Dobyns y Perkins, 1967). Posteriormente Fisk definió e identificó la inestabilidad secundaria a fracturas de radio distal. (Fisk, 1970). Una de las acepciones más extendidas en la actualidad es la definición de García-Elías, que la ha descrito de la siguiente manera: "La articulación de la muñeca debe considerarse clínicamente inestable sólo si presenta una disfunción sintomática, no es

capaz de soportar cargas y no muestra una cinemática normal durante ninguna parte de su arco de movimiento" (García Elías, 1997).

Sin embargo, este concepto ha sido objeto de innumerables estudios que siguen desarrollándose hasta la actualidad por lo que el término también va modificándose en un intento de alcanzar cada vez mayor precisión en su descripción. El concepto de inestabilidad del carpo en la actualidad es entendido como como "cualquier perturbación del equilibrio estático y dinámico de las fuerzas que soporta la muñeca en las condiciones y actividades habituales de la vida diaria". La inestabilidad se producirá si el carpo es incapaz de soportar cargas fisiológicas (discinética) o sufre de un movimiento anormal de las estructuras óseas durante el movimiento (discinemática) (García Elías y cols, 2006. Kuo y cols, 2008).

El grado de inestabilidad carpiana estará determinado por la extensión de las lesiones y la afectación de las diferentes estructuras ligamentosas y óseas. El concepto de "inestabilidad dinámica" alude a una disfunción que sólo ocurre durante el movimiento, mientras que la "inestabilidad estática" se observa incluso con la muñeca en reposo.

ii. Epidemiología

La inestabilidad carpiana es un problema mucho más común de lo que se diagnostica. Su incidencia es difícil de determinar, ya que pasa desapercibida con frecuencia tanto en el examen clínico como en los estudios de imagen. Se estima que las lesiones ligamentosas del semilunar pasan desapercibidas hasta en el 25 % de los casos (Griffin y cols, 2016).

Este infradiagnóstico se produce porque los hallazgos clínicos pueden ser inespecíficos muy sutiles y porque el diagnóstico por imágenes generalmente se basa en el reconocimiento de la posición anormal que adoptan los huesos del carpo en proyecciones radiográficas estandarizadas, lo que puede ser difícil de evaluar debido a la colocación

inadecuada de la muñeca para la obtención de las imágenes y a la falta de experiencia en la interpretación de las mismas (Ibitayo, y cols. 2021).

Short y cols. Describen tres causas por las que se pueden infraestimar el diagnóstico de las lesiones del ligamento escafosemilunar en una radiografía simple:

1. Por la dirección de entrada del haz de rayos: la posición del antebrazo puede condicionar una alteración en la medida real de la distancia escafosemilunar, ya que una pequeña rotación del mismo condiciona que se observe una medida inferior a la real.

2. Por la posición que adopta el escafoides: al pronarse, la distancia patológica real es la dorsal; sin embargo, debido a que la radiografía es una imagen en 2D, esta distancia queda oculta y se observa solo la menor distancia que separa los dos huesos.

3. Por la posición de la muñeca: si la lesión es dinámica, la posición de la muñeca puede condicionar que el escafoides subluxado sobre el dorso del radio se reduzca. Así, si se flexiona la muñeca desde una posición de 20° de extensión, se reduce el escafoides en la fosa escafoidea y desaparece la mala alineación. (Short y cols, 2002).

La caída en la mano extendida es una de las causas más comunes que la provocan, con una incidencia estimada del 22-44%. Aunque se desconoce la verdadera incidencia de la lesión del ligamento escafosemilunar, un estudio en cadáver realizado por Lee y cols. para determinar la incidencia de lesiones ligamentosas en el carpo encontró que el 35 % de las muñecas examinadas tenían algún grado de desgarro del SLIL, de las que el 29 % además tenía evidencia de artrosis. (Lee y cols. 2004).

O'Brien y cols. determinaron que el 24% de las inestabilidades carpianas corresponde a lesiones del ligamento escafosemilunar, el 24% a lesiones del ligamento lunopiramidal, el 14% corresponde a inestabilidad mediocarpiana y el 28% dos o más inestabilidades de forma simultánea. Determinaron que las lesiones ligamentosas perilunares representan alrededor del 7%-10% de todas las inestabilidades del carpo y 19% de los esguinces sin

fractura, y estimaron que la incidencia de inestabilidad carpiana junto con diagnóstico de fractura del radio distal es elevada y se sitúa en torno al 30% (O'Brien y cols, 2018).

iii. Importancia socioeconómica

La inestabilidad escafosemilunar es una lesión con gran impacto en términos clínicos, económicos y sociosanitarios. Su incidencia máxima se produce en la tercera y cuarta década de la vida, coincidiendo con años gran desarrollo de actividad laboral y deportiva:

- En el ámbito laboral el impacto económico es muy elevado e incluye el tiempo perdido por el trabajo, el coste de la atención médica, procedimientos quirúrgicos y rehabilitación posterior, teniendo en cuenta que en algunos casos es causa de incapacidad para volver a la ocupación laboral previa, sobretodo en trabajos de esfuerzo físico o actividades manuales.

- En el ámbito deportivo se suele producir en deportes con riesgo de colisión y caída como el fútbol, baloncesto, balonmano y la gimnasia. Las lesiones pueden ser particularmente problemáticas para los atletas profesionales, por la pérdida entrenamiento, de tiempo de juego, incapacidad para rendir a niveles previos a la lesión y la retirada prematura del deporte (Donald y cols, 2001).

2.2.2 Clasificación

A lo largo de la historia se han propuesto varios esquemas de clasificación de la inestabilidad del carpo que han ido modificándose y perfeccionándose atendiendo a múltiples parámetros para ayudar en el diagnóstico y al establecimiento de un algoritmo de tratamiento. Ningun sistema de clasificación es ideal, por lo que todos son complementarios entre sí. El sistema más ampliamente aceptado para clasificar la inestabilidad carpiana es la Clasificación de Mayo (Cooney y cols, 1990). Las bases de esta clasificación de remontan a 1972, cuando se introdujeron por primera vez los conceptos de inestabilidad del segmento intercalado dorsal y volar (DISI y VISI) (Linscheid y cols, 1972), y la inestabilidad por traslación cubital y dorsal (Dobyns y cols 1975; Taleisnik, 1984). Cada patrón de lesión puede estar asociado con un daño estructural específico (García-Elias, 1997). La inestabilidad carpiana también puede considerarse estática o dinámica (Taleisnik, 1988), dependiendo de si la inestabilidad está presente en reposo o sólo bajo ciertas condiciones cinéticas y cinemáticas. Esto generalmente se correlaciona con la extensión del daño a los ligamentos estabilizadores primarios y secundarios (García-Elias, 1997; Theumann y cols, 2006; Watson y cols 1993).

Podemos establecer una clasificación atendiendo a los siguientes parámetros: (Hodge y cols, 1995)

- Tiempo de evolución

Es fundamental considerarlo en cualquier lesión ligamentosa del carpo porque va a determinar el potencial grado de cicatrización y reparación del ligamento lesionado. En función del tiempo de evolución podemos dividir las lesiones en: (Larsen y cols, 1995)

- Agudas: son las que se presentan con 1-7 días de evolución, con gran potencial de cicatrización.
- Subagudas: se diagnostican entre la 2ª y la 6ª semana de evolución, con moderado potencial de cicatrización y reparación
- Crónicas: Se detectan a partir de la 6ª semana de evolución, con escasa probabilidad de cicatrización.

- Comportamiento bajo carga

En función de la situación del carpo en el momento de la aparición de la inestabilidad, la inestabilidad puede ser: (Taleisnik, 1984, 1988)

- Predinámica: No existe alteración de la alineación carpiana, incongruencia articular ni desviación en ningún momento, aunque existe un daño en el ligamento escafosemilunar al menos parcial.
- Dinámica: consiste en una desalineación carpiana no se observa en reposo, solo se observa durante las imágenes radiológicas tomadas en situación de carga o estrés o en su defecto, que al menos empeora durante las imágenes que se toman en estas condiciones con respecto a la situación basal. El ligamento escafosemilunar suele estar completamente roto, pero los estabilizadores secundarios lo compensan, consiguiendo la alineación en reposo.
- Estática: la alineación anormal de los huesos del carpo está presente en las diferentes proyecciones radiológicas estándar que se toman en la muñeca sin carga ni estrés. Aparece en reposo y puede ser reducible, si aún existe capacidad para revertirla y volver a la situación basal, e irreducible, cuando no lo es. Además del ligamento escafosemilunar, los estabilizadores estáticos son insuficientes. Normalmente las lesiones agudas tienen mayor potencial de reducción que las crónicas.

- Etiología:

La mayoría son postraumáticas, pero también pueden ser secundarias a enfermedades inflamatorias crónicas, yatrogénicas provocadas por un antecedente quirúrgico, congénitas ó neoplásicas (Urbanschitz y cols, 2021).

- Dirección:

En función de la dirección que adopta el segmento inestable, podemos clasificar la inestabilidad en 5 grupos: (Linscheid y cols, 1972)

- Inestabilidad en desviación dorsal del segmento intercalado: se conoce como inestabilidad DISI. Se produce por la hiperextensión del semilunar en relación a la columna central del carpo formada por el hueso grande y el radio, y se observa más comúnmente después de la ruptura del ligamento interóseo escafosemilunar. En esta situación el escafoides se inclina adicionalmente en sentido volar y esto conduce a un aumento del ángulo del escafosemilunar a más de 60°.



Fig. 39: Inestabilidad dorsal del segmento intercalado (DISI)

Siempre se debe diferenciar entre la configuración DISI y el patrón DISI. Ambas condiciones son desalineaciones estáticas. Sin embargo, la configuración DISI se considera una variante de la normalidad. Se puede diferenciar la configuración DISI y el patrón DISI con estudios de movimiento: normalmente, el escafoides, el semilunar y el hueso grande deben flexionarse en los movimientos de flexión de la muñeca, y deben extenderse durante la extensión. En la configuración DISI hay movimientos normales de los huesos del carpo, mientras que en el patrón DISI hay movimientos anormales en estos huesos (Braun y cols, 2021).

- Inestabilidad en desviación volar del segmento intercalado: se produce cuando el semilunar se encuentra anormalmente flexionado, observándose a su vez la hiperextensión del piramidal. Se conoce como inestabilidad VISI y su causa más habitual es la lesión del ligamento lunopiramidal.



Fig. 40: Inestabilidad volar del segmento intercalado (VISI)

En la deformidad VISI el hueso semilunar y el escafoides están inclinados palmarmente creando un ángulo escafosemilunar de menos de 30°. El hueso grande

está subluxado palmarmente y esto conduce a un aumento del ángulo hueso grande-semilunar a más de 30°. Al igual que en la inestabilidad DISI, siempre se debe diferenciar entre el patrón VISI y la configuración VISI que puede confirmarse mediante estudios de movimiento, aunque si el ángulo radiolunar es superior a 15°, claramente se trata de una condición anormal (Braun y cols, 2021).

- Inestabilidad en traslación cubital: Se produce cuando la hilera proximal del carpo se encuentra anormalmente desplazada (rotada y/o trasladada) en sentido cubital en relación al radio.

- Inestabilidad en traslación radial: Se produce cuando la hilera proximal del carpo se encuentra anormalmente desplazada en sentido radial.

- Inestabilidad en traslación dorsal: Se produce cuando el cóndilo carpiano, como consecuencia de una fractura de radio distal, se encuentra anormalmente desplazado en sentido dorsal (Dobyns y cols, 1975).

- Localización:

En función del segmento anatómico donde se produzca la inestabilidad, esta puede ser: (Wolfe y cols, 2012)

- Radiocarpiana: cuando afecta a la articulación radiocarpiana
- Mediocarpiana: cuando se produce entre las dos hileras del carpo
- Intercarpiana: Afecta a varios huesos de una misma hilera.
- Carpometacarpiana: afecta a las articulaciones de la segunda hilera con las bases de los metacarpianos.

Taleisnik clasificó la inestabilidad del carpo basándose en las características anatómicas y cinemáticas de la muñeca. Describió tres tipos principales de inestabilidad: (Fig. 41) (Taleisnik, 1984)

- La inestabilidad carpiana lateral: puede ocurrir entre el escafoides y el trapecio-trapezoide, el escafoides y el hueso grande, y el escafoides y el semilunar. La disociación escafosemilunar o subluxación rotatoria del escafoides representa la entidad más frecuente de este tipo.
- La inestabilidad carpiana media puede suceder entre el piramidal y el semilunar o entre el piramidal y el ganchoso. La disociación entre el semilunar y el piramidal da lugar a formas estáticas de inestabilidad, mientras que la interrupción del soporte entre el piramidal y el ganchoso conduce a formas dinámicas de inestabilidad.
- La inestabilidad carpiana proximal se produce por una interrupción a nivel de la articulación radiocarpiana o a nivel de la articulación mediocarpiana.

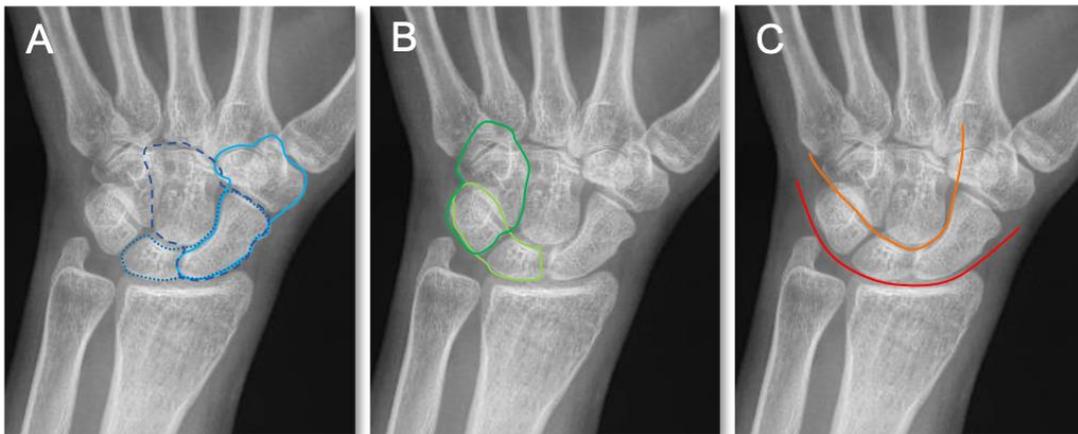


Fig. 41: Clasificación de la inestabilidad del carpo según Taleisnik. A: Inestabilidad lateral. B: Inestabilidad media. C: Inestabilidad proximal (Taleisnik, 1984)

- Patrón:

Podemos establecer 4 patrones de inestabilidad según la clasificación de Mayo. Este sistema de clasificación es uno de los más utilizados para la inestabilidad carpiana, y establece cuatro categorías según el patrón de lesión: (Cooney y cols, 1990; Ibitayo y Beckmann, 2021)

- Inestabilidad disociativa del carpo: ocurre cuando las lesiones de los ligamentos intrínsecos causan la interrupción de los huesos o de los ligamentos de la misma hilera del carpo, por lo que podemos subdividirla en inestabilidad disociativa de la hilera proximal y distal.
- Inestabilidad carpiana no disociativa: se produce cuando las estructuras osteoligamentosas de la misma hilera permanecen indemnes pero se lesionan los ligamentos extrínsecos, por lo que se mantiene la relación intrínseca entre los huesos de la misma hilera pero se produce disrupción entre la hilera proximal y distal o bien entre el radio y la hilera proximal. Podemos subdividirla en inestabilidad radiocarpiana, mediocarpiana o simultánea de ambas a la vez.
- Inestabilidad compleja del carpo: son un conjunto de inestabilidades carpianas que poseen cualidades de los patrones disociativo y no disociativo, por lo que se afectan las estructuras osteoligamentosas de la misma hilera y a su vez, existen lesiones entre las dos hileras.
- Inestabilidad adaptativa del carpo: un trastorno fuera de la muñeca causa la desalineación carpiana, siendo la causa más frecuente la mala unión de una fractura de radio distal (Fisk, 1970).

En la tabla 1 se detalla la clasificación de Mayo de la inestabilidad del carpo con los subtipos, causas y patrón radiológico: (Carlsen y Shin, 2008)

TIPO	PATRÓN	LESIÓN	RADIOLOGÍA
I	Inestabilidad disociativa del carpo	a) De la hilera proximal <ul style="list-style-type: none"> - Fractura inestable de escafoides - Disociación escafosemilunar - Disociación lunopiramidal b) De la hilera distal <ul style="list-style-type: none"> - Disociación axial radial - Disociación axial cubital - Disociación combinada 	DISI DISI VISI Traslación radial y volar Traslación cubital y volar Traslación cubital/radial/volar
II	Inestabilidad no disociativa del carpo	a) Radiocarpiana <ul style="list-style-type: none"> - Rotura de ligamentos palmares - Rotura de ligamentos dorsales - Secundaria <ul style="list-style-type: none"> * Enfermedades inflamatorias * Longitud de huesos del antebrazo * Enfermedades por depósito de microcristales b) Mediocarpiana <ul style="list-style-type: none"> - Cubital por lesión de ligamentos volares - Radial por lesión de ligamentos volares - Combinada por lesión de ligamentos volares - Por lesión de ligamentos dorsales c) Combinada radiocarpiana-mediocarpiana <ul style="list-style-type: none"> - Lesión de los ligamentos radiales y centrales del carpo 	DISI/Traslación cubital VISI Traslación dorsal VISI / Traslación dorsal VISI VISI VISI DISI Traslación cubital VISI/DISI
III	Inestabilidad compleja del carpo	Inestabilidad perilunar + inestabilidad radiocarpiana Inestabilidad perilunar + inestabilidad axial Inestabilidad radiocarpiana + inestabilidad axial Disociación escafosemilunar con traslación cubital	DISI + traslación cubital Traslación cubital Traslación cubital DISI + traslación cubital
IV	Inestabilidad adaptativa del carpo	Malposición del carpo por: <ul style="list-style-type: none"> - Fractura del radio distal en consolidación viciosa - Pseudoartrosis de escafoides - Anomalías del semilunar - Deformidad de Madelung 	DISI o traslación dorsal DISI DISI o VISI Traslación cubital, DISI o traslación volar

Tabla 1. Clasificación de Mayo de las inestabilidades carpianas según Carlsen y Shin.

a) *Inestabilidad disociativa del carpo*

i. De la hilera proximal:

Existen numerosos factores etiológicos causantes, de los cuales los más representativos son los factores traumáticos en los que se produce la ruptura del ligamento escafosemilunar o lunopiramidal (Walsh y cols, 2002). Otras causas son la fractura del escafoides, enfermedad de Kienböck y las artritis inflamatorias o por microcristales (pirofosfato cálcico) (Resnick y cols, 1977).

- Lesiones del ligamento escafosemilunar: son la causa más frecuente de inestabilidad disociativa del carpo. Se pueden presentar de forma aislada o en el contexto de inestabilidad perilunar (Lee y Elfar, 2015).

Existen tres fases de la lesión:

- Fase inicial: Se produce una inestabilidad oculta o predinámica por un desgarro parcial del ligamento, que todavía mantiene su competencia. No se observa desalineación en los huesos de la hilera proximal en los estudios radiográficos convencionales ni en proyecciones de estrés (Kitay y Wolfe, 2012).
- Segunda fase: Se produce inestabilidad dinámica por un desgarro completo del ligamento, pero los estabilizadores secundarios están indemnes. Las proyecciones estándar son normales, pero se observa aumento del gap escafosemilunar en las proyecciones de estrés (Ruby y cols, 1987).
- Tercera fase: Se produce inestabilidad estática por rotura completa del ligamento junto con lesión de los estabilizadores secundarios, por lo que las proyecciones radiológicas

convencionales muestran alteraciones en la alineación de los huesos de la hilera proximal del carpo, manifestándose la deformidad DISI (Short y cols, 2002).

- Lesiones del ligamento lunopiramidal: (Ocampos y cols, 2016) al igual que las lesiones del ligamento escarosemilar, pueden ocurrir de forma aislada o en el contexto de la inestabilidad perilunar. Los desgarros completos aislados son raros y son difíciles de diagnosticar en las radiografías convencionales, ya que los estabilizadores secundarios mantienen la congruencia entre el semilunar y el piramidal y no se observa desalineación, por lo que únicamente podrían detectarse en proyecciones de estrés. Se ha demostrado que actúan como estabilizadores secundarios de la articulación lunopiramidal los ligamentos radiocarpiano dorsal e intercarpiano dorsal (Horii y cols, 1991), así como la rama cubital del ligamento arcuato (Trumble y cols, 1990), y cuando se lesionan de forma simultánea es posible encontrar hallazgos en las proyecciones radiológicas convencionales, manifestándose la deformidad VISI:

- El semilunar se observa con una morfología triangular en lugar de la forma trapezoidal.
- El semilunar se observará en flexión y el hueso grande en extensión, lo que resultará en un aumento en el ángulo hueso grande-semilunar a más de 30° y una disminución en el ángulo escafosemilunar por debajo de 30° (Mathoulin y cols, 1990).

ii De la hilera distal:

La inestabilidad disociativa de la hilera distal es mucho menos frecuente que la de la hilera proximal. Es un patrón de inestabilidad axial del carpo. Suelen ser consecuencia de traumatismos de alta energía como explosiones o lesiones por aplastamiento y asocian grave atricción de partes blandas. (Shin y cols, 1999). Se distinguen 3 tipos: Garcia-Elias y cols, 1989)

- Disociación axial radial.
- Disociación axial cubital.
- Disociación combinada.

En ambas, hay un desprendimiento axial de parte del carpo, lo que provoca la aparición de dos bloques en la hilera distal: uno permanece unido a la hilera proximal, y el otro se desprende de ella (Rettig y cols, 2016; Herzberg, 2008).

- En la disociación lateral radial, la columna radial de la hilera distal es inestable y se separa de la hilera proximal mientras que la columna cubital permanece estable y no se altera.

- En la disociación lateral cubital, la columna cubital de la hilera distal es inestable y se separa de la hilera proximal, mientras que la columna radial permanece estable y no se separa.

- Si ambas columnas se separaran de la hilera proximal, se produce la disociación combinada. Esta entidad es muy poco frecuente.

Para la nomenclatura de estas lesiones de forma gráfica y representativa se usan los prefijos "trans-" (si existe fractura) y "peri-" (si no existe fractura y es una lesión puramente ligamentosa), seguido del hueso en el que se produce la disociación (Kani y cols, 2016).

b) Inestabilidad no disociativa del carpo

Es la inestabilidad carpiana que se produce entre el cúbito-radio y la hilera proximal (radiocarpiana) o entre ambas hileras (mediocarpiana). Los factores etiológicos más frecuentes son las lesiones de los ligamentos extrínsecos secundarias a traumatismos, las artropatías inflamatorias en fases avanzadas, como la artritis reumatoide, las alteraciones en la longitud de los huesos del antebrazo, causas iatrogénicas y anomalías congénitas (por ejemplo, deformidad de Madelung) (Wright y cols, 1994).

i. Inestabilidad radiocarpiana no disociativa con traslación cubital del carpo: se puede subdividir en 2 tipos de lesiones:

- Tipo I: todo el carpo se desplaza en la dirección cubital.
- Tipo II: una parte del carpo permanece vinculada al radio.

ii. Inestabilidad radiocarpiana no disociativa con traslación radial del carpo: es menos común que la translocación cubital (Kani y cols, 2016).

iii. Inestabilidad mediocarpiana no disociativa (Wolfe y cols, 2012): Es un patrón complejo de inestabilidad carpiana. Es más frecuente en adolescentes, y se produce por inestabilidad entre las hileras proximal y distal, aunque suele asociar un componente de inestabilidad radiocarpiana. Suele pasar desapercibida porque es difícil de detectar en las radiografías en proyecciones convencionales y porque en caso de haber hallazgos, las anomalías radiológicas pueden ser similares a los patrones VISI y DISI, por lo que se recomienda hacer estudio comparativo entre ambas muñecas.

Se puede subdividir en 4 formas:

- Volar: el semilunar aparece inclinado en sentido palmar.
- Dorsal: el hueso grande aparece desviado en sentido dorsal.
- Combinada: aumenta la inclinación de la superficie articular del radio distal y aumenta la varianza cubital
- Extrínseca.

c) Inestabilidad compleja del carpo

Se produce cuando se combinan lesiones disociativas y no disociativas. La mayoría de estas inestabilidades son secundarias a las lesiones perilunares que se producen por traumatismos de alta energía en los que se producen interrupciones óseas y/o ligamentosas (Carlsen y Shin, 2008).

Mayfield describe cuatro estadios progresivos en la inestabilidad compleja del carpo (tabla 2):

- Estadio I: desgarro del ligamento escafosemilunar. En el estadio inicial de la inestabilidad compleja el carpo adopta un patrón de inestabilidad disociativa.
- Estadio II: desalineación de la articulación hueso grande-semilunar, con el hueso grande dislocándose más comúnmente en sentido dorsal.
- Estadio III: lesión del ligamento lunopiramidal.
- Estadio IV: luxación del semilunar de la fosa sigmoidea, provocando que el hueso grande se alinee con el radio (Mayfield, 1984).

Estadio	Hallazgo	Articulaciones afectadas
I	Disociación escafosemilunar o subluxación rotatoria del escafoides	Escafosemilunar
II	Luxación perilunar	Escafosemilunar Hueso grande-Semilunar
III	Luxación mediocarpiana	Escafosemilunar Hueso grande-Semilunar Lunopiramidal
IV	Luxación del semilunar	Escafosemilunar Hueso grande-Semilunar Lunopiramidal Radiolunar

Tabla 2. Clasificación de Mayfield de la inestabilidad perilunar

La descripción de Mayfield incluye dos tipos de lesiones:

- Lesión de arco menor: hace referencia a las luxaciones perilunares que se producen únicamente por interrupciones ligamentosas.
- Lesión de arco mayor: o fractura-luxación perilunar, se producen cuando además existen fracturas asociadas en los huesos circundantes al semilunar (Mayfield y cols, 1980).

Las fracturas-luxaciones perilunares se nombran utilizando el prefijo "trans-" para denotar el hueso fracturado, siendo los más frecuentes el escafoides y el estiloides radial. Más recientemente, el concepto de lesiones de arco menor y mayor se ha ampliado para incluir un "arco transemilunar" haciendo referencia a que la fractura afecta al semilunar (Johnson, 1980; Bain y cols, 2008).

Herzberg y cols. clasificaron las lesiones perilunares en luxaciones perilunares o fracturas luxaciones (estadio I) y luxaciones del semilunares (estadio II). Se considera que los estadios I a III de Mayfield equivalen a las lesiones del estadio I en la clasificación de

Herzberg, mientras que el estadio IV de Mayfield corresponde al estadio II de la clasificación de Herzberg (Herzberg y cols. 1993).

d) Inestabilidad adaptativa del carpo

La translación de todo el carpo a nivel de la articulación radiocarpiana puede deberse a una lesión de los ligamentos extrínsecos o a un malposicionamiento carpiano provocado por la existencia de anomalías anatómicas adquiridas en el radio distal o en el cúbito. El primero se considera una subcategoría de la *inestabilidad no disociativa del carpo*, mientras que el segundo se clasifica como *Inestabilidad adaptativa* (Carlsen y Shin, 2008).

En la inestabilidad adaptativa, existe una anomalía anatómica que provoca la insuficiencia ligamentosa en el carpo, lo que termina resultando en el desarrollo de una desalineación DISI o VISI (Lee DJ y Elfar, 2015). La causa más común es la consolidación viciosa de una fractura de radio distal que provoca una anormal inclinación dorsal de la superficie articular del radio distal, y de forma secundaria el semilunar se orienta en extensión y el hueso grande en flexión, creando una configuración DISI de la muñeca (Wolfe y cols, 2012).

2.3. Inestabilidad disociativa: Lesiones del ligamento escafosemilunar

2.3.1 Anatomía, histología y biomecánica del ligamento escafosemilunar

La morfología macroscópica y la caracterización histológica del ligamento escafosemilunar humano fue descrita por originalmente por Berger en 1996, distinguiendo tres regiones (dorsal, proximal y volar) (Berger, 1996). Posteriormente más autores han desarrollado numerosos estudios ampliando el conocimiento del ligamento con estudios histoquímicos, biomecánicos y morfológicos (Sokolow, 2001; Liew y cols, 2021; Berger y cols, 1999). Chato-Astraín y cols. realizaron una exhaustiva caracterización histológica del ligamento dividiendo cada región en 2 subregiones (Fig. 42) (Chato-Astraín y cols, 2024).

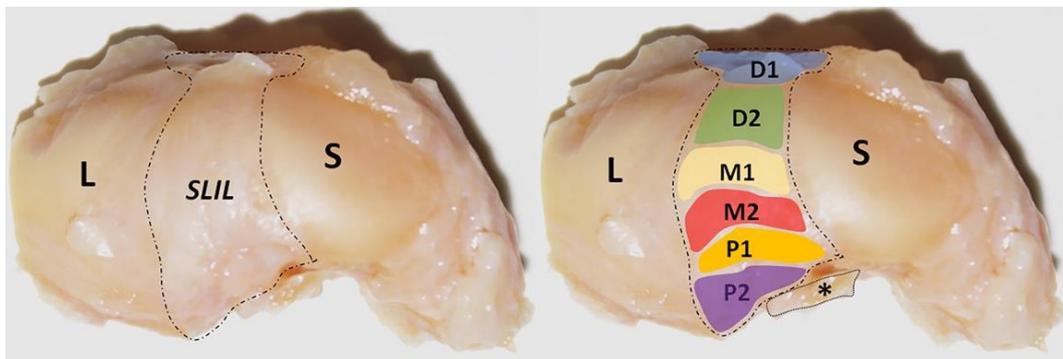


Fig. 42: Subregiones del ligamento escafosemilunar descritas por Chato Astraín y cols: S: Escafoides. L: Semilunar. (*): ligamento radioescafosemilunar. D1, región dorsal (parte 1); D2, región dorsal (parte 2); M1, región membranosa (parte 1); M2, región membranosa (parte 2); P1, región palmar (parte 1); P2, región palmar (parte 2) (Chato-Astraín y cols, 2024)

La composición del ligamento escafosemilunar presenta características histológicas similares a otros ligamentos intraarticulares y al fibrocartilago al estar formado

fundamentalmente por fascículos de colágeno infiltrados por el tejido conectivo poco organizado (Fig. 43)

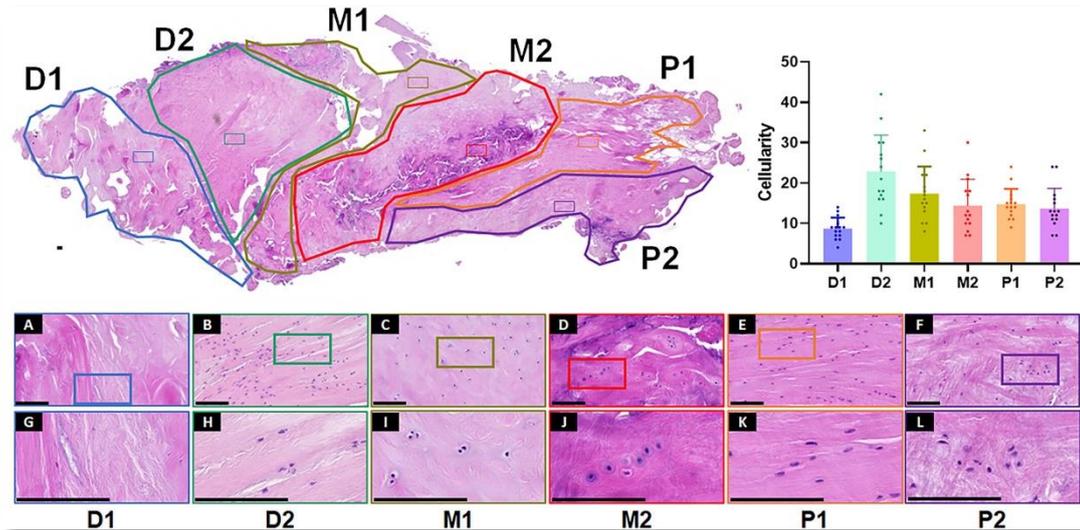


Fig. 43: Estructura histológica del SLIL con tinción de hematoxilina-eosina en las 6 subregiones. D1, región dorsal (parte 1) (a y g); D2, región dorsal (parte 2) (b y h); M1, región membranosa (parte 1) (c e i); M2, región membranosa (parte 2) (d y j); P1, región palmar (parte 1) (e y k); P2, región palmar (parte 2) (f y l).. El histograma de la derecha corresponde a la cuantificación del número de células por unidad de área en cada zona del SLIL (barras de escala: 100 μ m) (Chato-Astráin y cols, 2024)

Consta de 3 regiones:

a) *Región dorsal* (Berger, 1996)

i. Anatomía macroscópica (Sokolow, 2001)

Las fibras de la superficie dorsal presentan mayor longitud que las de la superficie volar, por lo que su sección transversal tiene forma trapezoidal. Mide 3 mm de espesor y 5 mm extensión proximal-distal en promedio.

- Distalmente, sus fibras se entrelazan con el fascículo escafopiramidal dorsal que forma parte del ligamento dorsal intercarpiano.
- Proximalmente se continúa con la región membranosa mediante una zona de transición bien diferenciada:
 - Las fibras de la región dorsal son transversales y tensas.
 - Las fibras de la región membranosa son laxas y gomosas.

ii. Histología

Está compuesto por fibras que se organizan en fascículos y se orientan en sentido transversal desde el margen radial del aspecto dorsal del semilunar y el margen cubital-dorsal del polo proximal del escafoides. Los fascículos se rodean de tejido conectivo laxo que contiene pequeñas arteriolas, vénulas y fibras nerviosas periféricas. Las fibras de colágeno se organizan en dos grupos:

- Las que discurren perpendicularmente a las fibras del ligamento y conectan la cápsula de radiocarpiana dorsal a la región dorsal del ligamento.
- Las fibras que discurren tangencialmente a las fibras del ligamento son las fibras que se fusionan distalmente con las fibras de colágeno formando el fascículo escafopiramidal dorsal.

Proximalmente, se identifica la zona de transición entre la composición fibrosa de la región dorsal y la composición fibrocartilaginosa de la región membranosa.

b) *Región proximal* (Berger, 1996)

i. Anatomía macroscópica (Sokolow, 2001)

Esta región se caracteriza por consistencia flexible y por su anisotropía, aunque cerca de su porción central las fibras pueden orientarse verticalmente en sus capas superficiales. En su inserción en el escafoides y en el semilunar las fibras se entrelazan íntimamente con el cartílago haciendo una transición casi indistinguible.

A nivel palmar sus fibras se entrelazan con el ligamento radioescafosemilunar. Cuando esta región es gruesa forma una evaginación con forma de cuña que tiende a sobresalir hacia el espacio de la articulación escafosemilunar con apariencia similar a un menisco de la rodilla.

En esta región se observan los defectos degenerativos con mayor frecuencia, fundamentalmente en su borde escafoideo.

ii. Histología

Histológicamente se compone de fibrocartílago que se identifica fácilmente cerca de sus inserciones en el escafoides y en el semilunar.

- Cuando existe evaginación intraarticular, ésta se compone íntegramente de fibrocartílago.
- Cuando no hay extensión intraarticular, la región proximal está formada por fibras de colágeno que se orientan longitudinalmente fundamentalmente a nivel medio-central.

- A nivel palmar se fusiona con el ligamento radioescafosemilunar, y el tejido conectivo laxo y la red neurovascular del núcleo del ligamento radioescafosemilunar reemplaza al fibrocartílago.

- La superficie distal de la región proximal está por una capa de tejido conectivo laxo revestida por sinoviocitos y se orienta hacia la articulación orientación mediocarpiana.

c) *Región palmar* (Berger, 1996)

i. Anatomía macroscópica (Sokolow, 2001)

Se entrelaza proximalmente con la región proximal fusionada con el ligamento radioescafosemilunar con una transición abrupta y claramente identificable, y se relaciona a nivel distal-radial con el ligamento radiolunar largo que queda más superficial, con el que mantiene su independencia. Es bastante delgada, sin sobrepasar 1 mm de espesor. Está compuesta por fibras de colágeno orientadas oblicuamente en sentido proximal-cubital.

- En la superficie radial del semilunar las fibras se insertan en una línea situada inmediatamente dorsal a la inserción del ligamento radiolunar largo e inmediatamente palmar al cartílago articular; a veces existe un receso lineal de aproximadamente 1 mm de ancho que separa ambas líneas.
- Distalmente, puede tener interconexiones de densidad variable con el ligamento REHG en su tránsito por el aspecto palmar del semilunar.

Desde el núcleo del ligamento radioescafosemilunar emergen láminas delgadas de colágeno en dirección divergente y forman extensiones delgadas en forma de abanico que se unen a la superficie palmar del polo proximal del escafoides y del semilunar, justo dorsal a la inserción radial distal del ligamento radiolunar corto. Esto aísla eficazmente la región palmar del ligamento escafosemilunar de la articulación radiocarpiana, haciendo imposible la visualización la región palmar del ligamento escafosemilunar desde la articulación radiocarpiana con un ligamento radioescafosemilunar intacto.

i. Histología

De forma similar a la región dorsal, la región palmar está compuesta de fibras de colágeno agrupadas en fascículos con vasos sanguíneos y nervios que discurren

longitudinalmente por los espacios perifasciculares. El tejido conectivo areolar laxo del ligamento radioescafosemilunar individualiza la región palmar de la región proximal y del ligamento radiolunar largo. La superficie dorsal de la región palmar a menudo está cubierta por una expansión distal de la membrana sinovial que recubre al ligamento radioescafosemilunar.

2.3.2 Historia natural, fisiopatología y clínica de las lesiones del ligamento escafosemilunar

I. Historia natural

El agente etiológico más habitual de las lesiones SLIL son los traumatismos, y entre ellos la forma más frecuente es la caída con traumatismo directo en la mano con la palma en hiperextensión, desviación cubital y supinación del carpo de forma progresiva. La compresión axial hace que el hueso grande actúe como una cuña entre el escafoides y el semilunar. A medida que la hilera distal del carpo se extiende, los ligamentos palmares del carpo provocan un momento de extensión que se transmite al escafoides distal, y desde aquí, al semilunar (Donald y cols. 2001).

Es frecuente que los pacientes refieran el antecedente de un traumatismo trivial que cuando se produjo no les suscitó gravedad y por el que no consultaron, o incluso simplemente no lo recuerden. En otras ocasiones el origen etiológico es la repetición de un traumatismo de baja intensidad relacionado con la actividad deportiva o la ocupación laboral. La lesión puede producirse de forma simultánea con otras lesiones en la muñeca, por ejemplo, las fracturas de radio distal, o los procesos inflamatorios crónicos como la sinovitis provocada por la artritis reumatoide.

La progresión natural de la lesión aislada del ligamento escafosemilunar es incierta. Aunque se desconoce el tiempo hasta el desarrollo de la artritis secundaria, la lesión del ligamento escafosemilunar y la disociación alteran la biomecánica del carpo favoreciendo el desarrollo de cambios degenerativos de forma progresiva con el paso del tiempo. Algunos autores defienden que la progresión degenerativa es inevitable, sin embargo, otros abogan por que la evolución natural puede ser simplemente hacia problemas sintomáticos sin desarrollo de artritis (O'Meehan y cols. 2003).

ii. Fisiopatología

Dependiendo del mecanismo traumático, las lesiones pueden comenzar desde un simple esguince a lesiones completas del ligamento escafosemilunar (Resnick, 1985).

Los desgarros parciales del ligamento escafosemilunar afectan con mayor frecuencia solo sus porciones volar y proximal. Los ligamentos pueden aparecer elongados, avulsionados del hueso o completamente desgarrados. El ligamento dorsal es mucho más fuerte que el volar por lo que puede resistir la torsión traumática sin lesionarse (Berger y cols, 1999; Geissler y cols, 1996). El potencial de curación depende de la zona lesionada del ligamento: si el desgarró se produce en su porción dorsal y los extremos se retraen y se necrosan la probabilidad de curación es baja. Si la lesión es de tipo avulsión el ligamento en sí estará íntegro, por lo que incluso en estadios crónicos puede conseguirse la estabilidad si se consigue reinsertar el ligamento en su posición anatómica (García Elías, 2006).

En ausencia de reparación y en estadios avanzados, los ligamentos dañados se fibrosan, provocando la estabilización rígida de la desalineación. Esta fibrosis llega incluso a calcificarse y a hacerse visible en las pruebas de imagen, simulando una formación ósea similar a un osteofito. Las localizaciones más habituales de desarrollo de fibrosis son el borde volar y proximal del semilunar y la esquina medial del tubérculo del escafoides (Brunelli y Brunelli, 1995).

Como consecuencia de la rotura de los estabilizadores de la articulación escafosemilunar, se produce la pérdida de relación fisiológica entre el escafoides y el semilunar. El escafoides adopta una posición en flexión palmar y pronación y se subluxa en sentido dorsal su polo proximal. Al perder el efecto estabilizador por la interrupción ligamentosa, el semilunar sigue el movimiento del piramidal adoptando una posición anormal en extensión y supinación con un componente de traslación cubital (DISI) (Watson y Ryu, 1986).

En ausencia de tratamiento, la muñeca avanza en los distintos estadios evolutivos desde la fase predinámica, dinámica y finalmente estática, y la desalineación del escafoides y del semilunar que inicialmente es reductible, se hace irreductible; siguiendo la misma progresión, el cartílago que inicialmente está sano desarrolla cambios degenerativos, lo que conduce al desarrollo de artrosis de muñeca, colapso del carpo ó muñeca SLAC (colapso escafosemilunar avanzado) (Watson 1997). Las lesiones condrales pueden aparecer en el momento del traumatismo, por lesión directa del tejido cartilaginoso o secundariamente como consecuencia de la cinemática anormal del carpo por la distribución anormal de las áreas de presión y la movilidad anómala (Viegas y cols, 1987). Los aspectos proximal y dorsal del escafoides y del hueso grande son particularmente propensos a desarrollar lesiones degenerativas (Fig. 44)

Existen varios estadios de muñeca SLAC: (Watson y Ballet, 1984)

- Estadio I: afecta solo a la articulación estiloescafoidea
- Estadio II: las lesiones degenerativas afectan a todo el escafoides.
- Estadio III, afectación mediocarpiana con extensión de los cambios degenerativos hasta la articulación hueso grande-semilunar

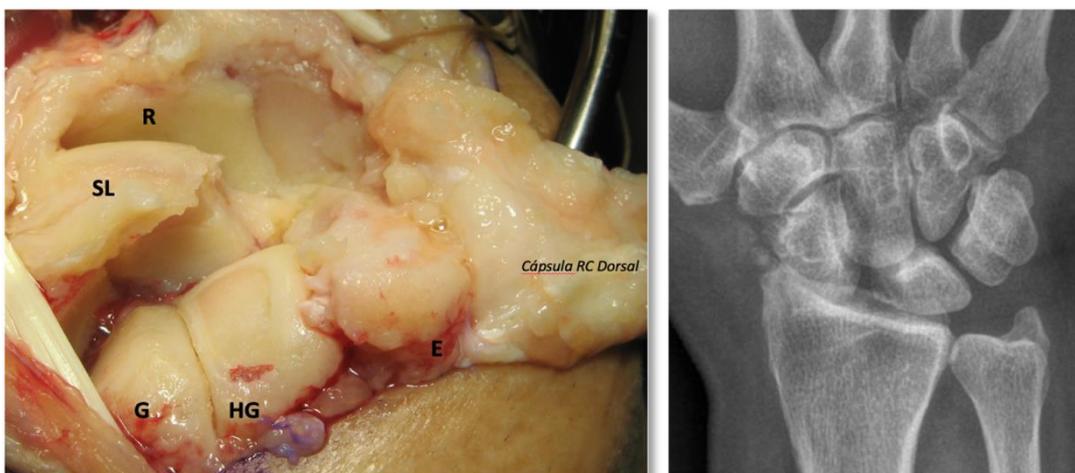


Fig. 44: Muñeca SLAC. Se pueden observar los cambios degenerativos en el espécimen y en el estudio radiológico. R: Radio distal; E: Escafoides; SL: Semilunar; HG: Hueso Grande; G: Ganchoso; Cápsula radiocarpiana dorsal.

iii. Presentación clínica y exploración física

Los síntomas varían ampliamente entre los pacientes, y en el momento en que se produzca la exploración. En el momento agudo, en general la sintomatología puede ser intensa e inespecífica y esto puede enmascarar las maniobras de exploración más específicas. En cualquier caso, el espectro sintomático de las lesiones del ligamento escafosemilunar abarca los siguientes hallazgos: (Beckenbaugh, 1984)

- Dolor localizado en el dorso de la mano y de la muñeca, fundamentalmente en dígitopresión en la articulación escafosemilunar, el tubérculo del escafoides o en la tabaquera anatómica: es el síntoma más frecuente y el principal motivo de consulta. En fases subagudas o crónicas el dolor queda relegado al borde dorsorradial de la muñeca.
- Inflamación local y edema localizado: en el momento inicial tras el traumatismo y en los días posteriores.
- “Clic” o “clunk” doloroso: es la percepción de un chasquido que se reproduce con ciertos movimientos activo del paciente. Habitualmente el paciente sabe qué movimientos le provocan el chasquido y es capaz de provocarlos.
- Pérdida ó restricción de la movilidad: rara vez es una queja de los pacientes en las primeras fases de la enfermedad, pero se hace más frecuente a medida que la enfermedad progresa.
- Dificultad para la prensión y agarre, y pérdida de fuerza en la mano, muñeca y antebrazo con limitación para la manipulación de objetos.
- Tumefacción, deformidad y rigidez: en fases avanzadas y de aparición progresiva a medida que evoluciona la enfermedad degenerativa del carpo (Atkinson y Baxley, 1994).

Maniobras de exploración de la inestabilidad escafosemilunar:

- Maniobra de resalte del polo proximal del escafoides: en una muñeca sana con la desviación radial el escafoides se flexionaría. Si el ligamento escafosemilunar es incompetente, al realizar la desviación radial de la muñeca y de forma simultánea se presiona sobre el dorso del escafoides, la fuerza se transmitirá al polo proximal, lo que provocará su posicionamiento sobre el reborde dorsal del radio, y este movimiento producirá dolor y un chasquido o resalte audible o palpable en la zona dorso-radial de la muñeca. Cuando deja de realizarse presión sobre el tubérculo del escafoides se producirá la corrección, que se percibirá igualmente como un resalte (Kuo y Wolfe, 2008).



Fig. 45: Maniobra de resalte del polo proximal del escafoides

- Test de Watson, Maniobra de desplazamiento escafoideo o “Scaphoid Shift Test”: Útil en el diagnóstico de la inestabilidad en fases predinámica y dinámica. Se realiza haciendo que el paciente descanse el codo de la extremidad afectada en la mesa de examen. El examinador coloca una mano detrás del radio para mover la muñeca desviándola en sentido cubital y radial, el pulgar contralateral lo coloca en la cara palmar de la muñeca sobre el tubérculo del escafoides para aplicar presión. Esta maniobra evita la flexión palmar del escafoides a medida que la muñeca se mueve desde cubital a la radial. Cuando la articulación escafosemilunar es inestable, el polo proximal del escafoides se subluxará dorsalmente sobre el borde dorsal del radio, produciendo dolor. Cuando se libera la presión sobre el escafoides, éste se traslada a la fosa escafoidea y se aprecia un chasquido (Watson y cols, 1988).

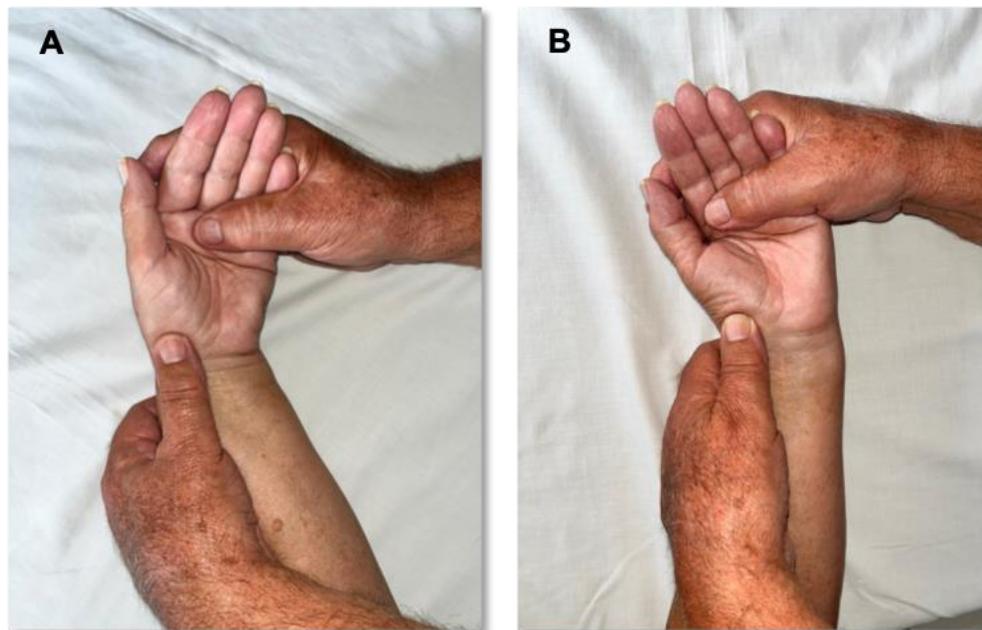


Fig. 46: Test de Watson. **A:** Desviación cubital. **B:** Desviación radial.

- Maniobra del bamboleo escafosemilunar (“ballotement test”): Se realiza bloqueando el semilunar con el pulgar y el índice de la mano contralateral y el escafoides con la mano ipsilateral, colocando el pulgar sobre el tubérculo escafoideo

y el índice en el polo proximal. Se ejerce una fuerza anterior y posterior sobre el escafoides. La prueba será positiva si se observa dolor y una movilidad excesiva del escafoides con respecto al semilunar (Stanley y cols, 1994).



Fig. 47: Ballotement test

Las maniobras de exploración pueden ser falsamente positivas en individuos con articulaciones laxas y siempre debe compararse con la muñeca contralateral. El dolor puede provocarse por la existencia de sinovitis, la artrosis radioescafoidea o la presencia de un ganglión oculto, por lo que tienen poca especificidad.

2.3.3 Clasificación

La inestabilidad escafosemilunar ha sido objeto de numerosos estudios a lo largo de la historia, hasta la actualidad. Elaborar un sistema de clasificación claro, reproducible y que estadifique la lesión de forma fiable es algo deseable para poder establecer un enfoque diagnóstico-terapéutico efectivo, desarrollar un algoritmo terapéutico, potenciar las probabilidades de éxito, pronóstico y minimizar secuelas y posibilitar la investigación.

Todas las clasificaciones se basan en hallazgos clínicos, radiológicos y artroscópicos. Ningún sistema de estadificación es perfecto, por lo que todas las clasificaciones son complementarias entre sí.

Los sistemas de clasificación más aceptados son los siguientes:

- Clasificación de Watson (Watson y cols, 1993)

Es uno de los sistemas de clasificación clásicos que correlaciona el grado de lesión radiológica con los hallazgos clínicos, estadificando las lesiones en 4 grados. Tiene como inconvenientes que no visualiza directamente el ligamento y que la correlación de la clínica la establece únicamente con radiografías convencionales:

- Estadio I: dolor en región escafosemilunar dorsal, prueba de Watson positiva y radiografías normales.
- Estadio II: como el estadio I, pero muestra adicionalmente alteraciones en radiografías dinámicas.
- Estadio III: como el estadio II, pero se añaden alteraciones en las radiografías estáticas.
- Estadio IV: en las radiografías se evidencian cambios artrósicos.

- Clasificación de Krimmer (Krimmer y cols, 1996)

Krimmer y cols, desarrollaron un sistema de clasificación de las lesiones del ligamento escafosemilunar sencillo basándose en la magnitud de la lesión y su correlación con el tipo de inestabilidad que generaba:

- Grado 1: ruptura parcial del ligamento escafosemilunar, inestabilidad predinámica.
- Grado 2: ruptura completa con inestabilidad dinámica.
- Grado 3: ruptura completa con disociación estática.

Establecieron una correlación con la clasificación de Geissler estableciendo que los grados de Krimmer 1, 2 y 3 corresponden a los estadios de Geissler 2, 3 y 4 respectivamente.

- Clasificación de Geissler (Geissler y cols, 1996)

Desarrolló un sistema de clasificación de las lesiones del ligamento escafosemilunar que se usa ampliamente en la actualidad, estadificándolas en cuatro grados basándose en los hallazgos encontrados en un grupo de 60 pacientes con fracturas intraarticulares de radio distal tratados mediante reducción cerrada y fijación interna bajo control artroscópico y fluoroscópico:

- Grado I: atenuación o hemorragia del ligamento interóseo que se ve desde el espacio radiocarpiano. El aspecto normal liso y cóncavo del ligamento entre los huesos se pierde y se convierte en convexo. No existe incongruencia entre los huesos en la articulación mediocarpiana.
- Grado II: atenuación o hemorragia del ligamento interóseo en el espacio radiocarpiano. Incongruencia entre los huesos del carpo en la

articulación mediocarpiana. Puede existir un pequeño espacio (inferior a la anchura del gancho palpador) entre los mismos.

- Grado III: separación e incongruencia entre los huesos del carpo, tanto en el espacio radiocarpiano como en el mediocarpiano. El palpador puede pasar entre los dos huesos.
- Grado IV: la separación entre los huesos es ostensiblemente mayor hasta incluso poder pasar un artroscopio de 2,7mm.

- Clasificación de Dautel y Dreant (Dautel y Dreant, 2003)

Dautel y Dreant desarrollaron un método para identificar lesiones ocultas del ligamento escafosemilunar que no eran visibles radiográficamente, mediante el sondeo artroscópico de la articulación escafosemilunar a través de la articulación mediocarpiana. Basándose en una revisión de 70 pacientes, en los que visualizaron directamente el ligamento mediante una exploración artroscópica sin tracción para posteriormente realizar una maniobra dinámica con el palpador, estadificaron las lesiones en función de la posibilidad de pasar el instrumental a través del espacio escafosemilunar comunicando los espacios radiocarpiano y mediocarpiano:

- Estadio 0: es imposible introducir la punta del gancho entre el escafoides y el semilunar.
- Estadio 1: es posible introducir la punta del gancho entre el escafoides y el semilunar.
- Estadio 2: es posible crear una diástasis escafosemilunar mediante un movimiento de torsión del gancho.
- Estadio 3: el artroscopio de 2,7mm pasa entre el escafoides y el semilunar desde el espacio mediocarpiano al radiocarpiano.

También correlacionaron el tipo de inestabilidad radiológica con la inestabilidad artroscópica:

- Todos los pacientes en estadio 1 presentaban inestabilidad predinámica.
- Los pacientes con un estadio 2 tenían una inestabilidad predinámica en el 61% de los casos, una inestabilidad dinámica en el 33%, y una inestabilidad estática en el 6%.
- Los pacientes con un estadio 3 presentaban una inestabilidad dinámica en el 22% de los casos, y una inestabilidad estática en el 78%.

- Clasificación de Schmitt (Schmitt y cols, 2006)

Esta clasificación tiene su base en la clasificación de Watson de 1993. Schmitt y cols, asociaron al estadio y al tipo de inestabilidad la magnitud de la lesión del ligamento escafosemilunar y el estado de los estabilizadores secundarios (tabla 3)

Clasificación de Watson modificada por Schmitt			
Estadio	Inestabilidad	Ligamento escafosemilunar	Estabilizadores secundarios
I	pre-dinámica	desgarro parcial	indemnes
II	dinámica	rotura completa	indemnes
III	estática	rotura completa	lesionados
IV	Degenerativa - artritis	rotura completa	lesionados

Tabla 3: Clasificación de Schmitt de la inestabilidad escafosemilunar

- Clasificación de García-Elías (García-Elías y cols, 2006)

Representa una de las clasificaciones más extendidas y aceptadas. Se establece en función de 5 ítems que permiten la estadificación de la lesión del ligamento escafosemilunar en 6 estadios (Tabla 4). Los parámetros que se valoran son los siguientes:

- i. ¿Está intacto el ligamento escafosemilunar dorsal?
- ii. Si el ligamento escafosemilunar dorsal se interrumpe, ¿se puede reparar con un buen potencial de curación?
- iii. ¿El escafoides está alineado normalmente con un ángulo radio-escafoideo de 45° o menos, lo que indica una cápsula y ligamentos escafo-trapecio-trapezoidales normales?
- iv. ¿La desalineación carpiana es fácilmente reductible?
- v. ¿Es normal el cartílago de las articulaciones radiocarpiana y mediocarpiana?

Estas preguntas se responden con un sí o un no. Respondiendo a estas preguntas, cada caso puede asignarse a uno de los siguientes 6 grupos o estadios:

- Estadio 1: Lesión parcial del ligamento escafosemilunar.
- Estadio 2: Lesión completa del ligamento escafosemilunar que aún es reparable
- Estadio 3: Lesión completa del ligamento escafosemilunar no reparable con el escafoides indemne que mantiene la alineación normal.
- Estadio 4: Lesión completa del ligamento escafosemilunar con una subluxación rotatoria del escafoides reducible no reparable.
- Estadio 5: Lesión completa del ligamento escafosemilunar con desalineación irreductible pero con cartílago normal.

- Estadio 6: Lesión completa del ligamento escafosemilunar con desalineación irreducible y degeneración del cartílago.

	Estadio 1: SLIL parcial	Estadio 2: SLIL completa, reparable	Estadio 3: SLIL completa, irreparable	Estadio 4: Subluxación rotatoria del escafoides	Estadio 5: DISI	Estadio 6: SLAC
Rotura parcial. SL dorsal intacto	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Rotura SL dorsal reparable	SI	SI	NO	NO	NO	NO
Ángulo radio- esfafoideo <45°	SI	SI	SI	NO	NO	NO
Desalineación carpiana raducible	SI	SI	SI	SI	NO	NO
Cartílago radiocarpiano y mediocarpiano indemne	SI	SI	SI	SI	SI	NO

Tabla 4: Sistema de clasificación de García – Elías

Cuando el número de respuestas negativas disminuye de izquierda a derecha indica una progresión de la gravedad y/o cronicidad del problema desde leve (estadio 1) a grave (estadio 6). En teoría todos los pacientes de un mismo grupo requerirán tratamientos similares.

Esta clasificación es sencilla y lógica y, si se utilizara universalmente permitiría comparar el tratamiento y los resultados estratificados por el estadio. Presenta novedades con respecto a las anteriores, como la consideración de los cambios degenerativos en las fases avanzadas de la enfermedad, el establecimiento del tratamiento por etapa con reproducibilidad del mismo esquema según el mismo diagnóstico y el papel estabilizador del escafoideas en la alineación carpiana. (Wessel y Wolfe, 2023)

- Clasificación de la EWAS (European Wrist Arthroscopy Society)
(Messina y cols, 2013; Dreant y cols, 2009)

Las clasificaciones descritas evalúan la inestabilidad dinámica de la articulación escafosemilunar pero no matizan el área exacta de desgarró del ligamento

La EWAS elabora un sistema de estadiaje comparando las clasificaciones artroscópicas de Geissler y Dautel-Dreant. Para tal fin se diseñó un estudio prospectivo y multicéntrico en el que analizaban la correlación diagnóstica de ambas clasificaciones completándolas con el área de atenuación o desgarró. Los autores concluyeron que ninguna de las dos clasificaciones era ideal y propusieron un nuevo sistema adoptando los estadios 1, 2 y 3 de Dreant-Dautel (en el estadio 0 no hay inestabilidad) al que sumaban la información aportada por la visión artroscópica del ligamento. Las letras A, B, C, D y E se añaden para proporcionar información sobre el estado de la lesión del ligamento escafosemilunar visto desde la articulación radiocarpiana:

- A: lesión de la porción central del ligamento.
- B: lesión de la porción anterior del ligamento.
- C: lesión de la porción posterior del ligamento.
- D: rotura completa del ligamento.
- E: ligamento en continuidad, pero muy laxo.

2.3.4 Diagnóstico por imagen de las lesiones del ligamento escafosemilunar

El diagnóstico de la inestabilidad escafosemilunar se basa en una anamnesis completa, una exploración física minuciosa y en estudios de imagen para confirmar el diagnóstico. Se estima que en tres cuartas partes de los casos se puede establecer un diagnóstico de sospecha mediante la anamnesis y el examen físico (Rhee et al., 2014).

El diagnóstico por imagen ayuda a la detección de la lesión, su estadificación y por lo tanto a la aplicación del tratamiento, ortopédico o quirúrgico según la fase. Si el diagnóstico se establece en estadios precoces el pronóstico generalmente es mejor (Sauve et al., 2014). Sin embargo, es frecuente que el diagnóstico sea tardío, lo que conduce a la aplicación del tratamiento en etapas avanzadas del proceso. Esto puede ocurrir por varios motivos:

- Porque en los estudios de imagen iniciales no hay evidencia clara de patología, informándose como normales y por tanto infradiagnosticándose la lesión.
- Porque el paciente no consulta hasta que la sintomatología es muy invalidante, y por norma general con mucho tiempo de evolución y en estadio avanzado.
- Porque cuando el paciente consulta, se diagnostica de otra lesión simultánea con mayor protagonismo, dando por diagnóstico las lesiones más evidentes y pasando desapercibidos los hallazgos sugerentes de lesión del ligamento escafosemilunar (por ejemplo, una fractura de radio distal o hallazgos degenerativos propios de la artritis reumatoide)

Los estudios de imagen más habituales para el diagnóstico de las lesiones del ligamento escafosemilunar son los siguientes:

- a) Radiografía convencional
- b) Cinematografía
- c) Artrografía
- d) Ecografía
- e) TAC
- f) Gammagrafía
- g) RNM
- h) Artroscopia
- i) Nuevas técnicas de imagen

a) Radiografía convencional

i. Proyecciones puras

El estudio radiológico inicial ante la sospecha de lesión del ligamento escafosemilunar consiste en la realización de proyecciones anteroposterior y lateral del carpo. Para realizar una interpretación correcta es muy importante que las imágenes obtenidas tengan una calidad óptima, para lo cuál las proyecciones deben realizarse con una metodología rigurosa y una colocación exigente.

Las proyecciones deben estar centradas en el carpo y deben incluir el tercio distal del radio y del cúbito y los dos tercios proximales de los metacarpianos. La colocación estándar se realiza con el hombro colocado en abducción de 90°, el codo flexionado 90° y el codo al mismo nivel que el hombro. La mano debe quedar apoyada sobre el chasis: (Okoro y cols, 2023)

- Proyección anteroposterior (AP): Se toma con el antebrazo en supinación máxima apoyando el dorso de la mano. La estiloides cubital se visualizará centrada en el cúbito distal.

- Proyección pósterioanterior (PA): Se toma con el antebrazo en pronación máxima apoyando la palma de la mano. La estiloides cubital se visualizará de perfil como una continuidad del margen cubital distal.
- Proyección lateral (L): Se toma en pronosupinación neutra apoyando el margen cubital de la mano.

Proyección anteroposterior pura:

En la proyección anteroposterior pura el eje del tercer metacarpiano, el eje del hueso grande, el semilunar y el radio deberían ser casi colineales. El área de la articulación radiolunar debe cubrir más del 50% de la superficie de la faceta semilunar proximal. El contacto radiolunar disminuye en presencia de inestabilidad escafosemilunar (Okoro y cols, 2023).

- Gap escafosemilunar:

No existe un método descrito en la literatura completamente fiable y reproducible sobre cómo medir correctamente la diástasis escafosemilunar. Siempre se recomienda el estudio comparativo contralateral, por existir una gran variabilidad interpersonal y la dificultad para su exacta medición. En el establecimiento del límite de normalidad, Cautilli estableció que es normal hasta 3,6 mm en mujeres y hasta 4 mm en varones. A partir de esa distancia, se considera que existe una diástasis o disociación de la articulación, y el hallazgo radiográfico en proyección anteroposterior es el conocido como “signo de Terry Thomas” por su similitud con el diastema dental del humorista británico con dicho nombre (Fig. 48) (Cautilli y Wehbé, 1991).



Fig 48. Diástasis escafosemilunar. Signo de Terry-Thomas (*)

En proyección anteroposterior se pueden dibujar tres arcos suaves y paralelos (líneas de Gilula) a lo largo de los huesos carpianos (Fig. 49):

- El primer arco o arco proximal corresponde a la porción más proximal de la primera hilera carpiana
- El segundo arco o arco medio corresponde al límite distal de la primera hilera carpiana.
- El tercer arco o arco distal corresponde al límite proximal de los huesos grande y ganchoso de la hilera distal del carpo.

Se sospecha una lesión escafosemilunar cuando una o dos de las líneas del carpo aparecen interrumpidas con un escalón, cuando se superponen huesos del carpo o si la morfología del semilunar cambia de trapezoidal a triangular o adopta forma de luna (Gilula, 1979).



Fig. 49: Líneas de Gilula. **Rojo:** Arco proximal; **Amarillo:** Arco medio; **Azul:** Arco distal

Se han descrito también las líneas radiológicas definidas por ligamentos y huesos que rodean al semilunar, formando los arcos mayores y menores de la muñeca (Fig. 50). Estos arcos representan una zona de vulnerabilidad de la muñeca donde se produce una gran mayoría de las inestabilidades carpianas:

- El arco menor está compuesto por los ligamentos que rodean inmediatamente al semilunar (ligamento escafosemilunar y lunopiramidal). Las anomalías en el arco menor son sugerentes de luxaciones del semilunar.
- El arco mayor está compuesto por estructuras óseas que rodean al semilunar: la estiloides radial, el escafoides, el hueso grande, el piramidal y la estiloides

cupital. Las alteraciones en el arco mayor son sugerentes de fracturas de los huesos del carpo y de fracturas-luxaciones (Martínez-Martínez y cols 2015).



Fig. 50: Arcos mayor (naranja) y menor (rojo) del carpo

Proyección lateral pura

En radiografías laterales puras, la proyección se realiza con el brazo en abducción a 90°, el codo flexionado a 90°, el antebrazo en pronosupinación neutra y el dorso de los metacarpianos debe estar en línea recta con el radio y el cúbito. En estas condiciones, se deben cumplir las reglas de Meyrueis (Meyrueis y cols, 1975): el eje del tercer metacarpiano, el hueso grande y el semilunar y el radio deben ser coaxiales, y el cúbito se debe superponer exactamente al radio. Se puede comprobar si esta proyección se realiza perfectamente si se observa el hueso pisiforme superpuesto a la porción media del escafoides. La alineación del carpo se determina trazando líneas paralelas a la extensión longitudinal del radio,

semilunar, hueso grande y escafoides determinando los ángulos: (Schimmerl-Metz y cols, 1999)

- Radiolunar (rango normal 0 ± 15 grados)
- Capitolunar (rango normal 0 ± 15 grados)
- Escafo-semilunar (rango normal 45 ± 15 grados).

Todo ángulo carpiano que exceda estos rangos debe considerarse sospechoso de inestabilidad escafosemilunar:

Lesión	Ángulo Observado	Medida
Diástasis escafosemilunar	Gap escafosemilunar	2-4 mm (sospecha) > 4mm (diagnóstico)
Subluxación rotatoria del escafoides	Ángulo escafosemilunar Ángulo radioescafoideo	> 60 - 80° > 60°
DISI	Ángulo escafosemilunar Ángulo radiolunar Ángulo capitolunar	60 – 80° (sospecha) > 80° (diagnóstico) > 10°
VISI	Ángulo escafosemilunar Ángulo radiolunar Ángulo capitolunar	< 30° > 10° > 30°

Tabla 5. Ángulos patológicos en la inestabilidad del escafosemilunar. (Gilula and Weeks, 1978)

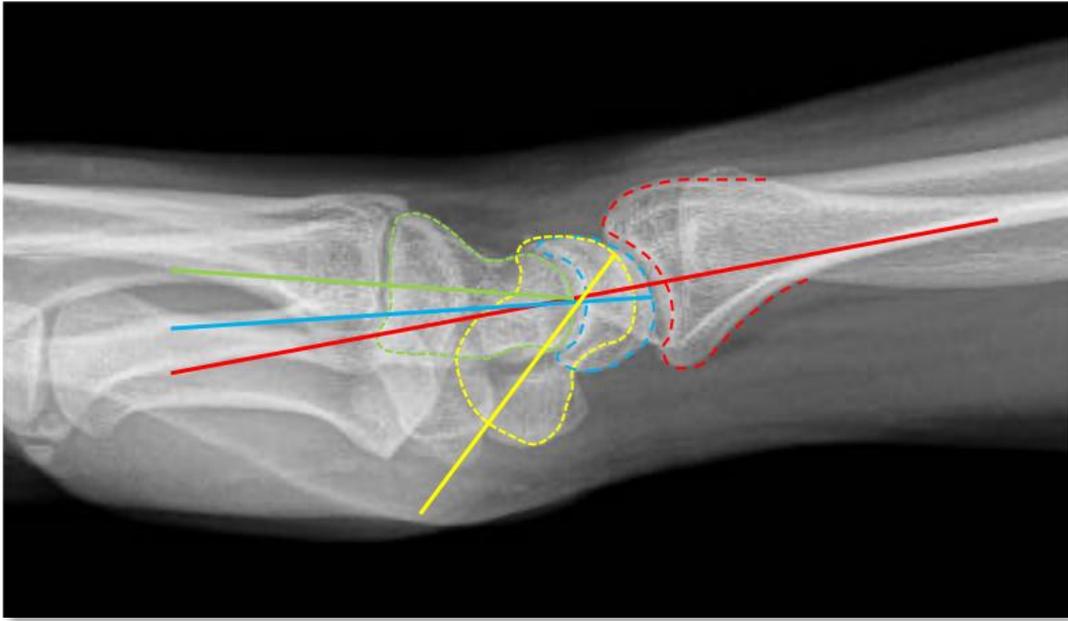


Fig 51: Medición angular en la radiografía lateral de muñeca según Gilula y Weeks. Líneas discontinuas: roja: radio distal; azul: semilunar; amarilla: escafoides; verde: hueso grande. Ángulo SL: líneas amarilla-azul; Ángulo radiolunar: líneas roja-azul; Ángulo capitolar: líneas azul-verde.

Signo de la V de Taleisnik: En una muñeca sana, la cortical anterior del radio se continúa de suavemente con el aspecto anterior del escafoides, describiendo una línea en forma de C. Si el escafoides está anormalmente flexionado, esta transición suave se pierde y la línea adquiere forma de V (Taleisnik, 1984).

ii. Proyecciones de estrés

En ocasiones, las proyecciones puras pueden tener una baja sensibilidad para identificar lesiones ligamentosas y diagnosticar lesiones del ligamento escafosemilunar. Además, la distancia escafosemilunar normal puede variar entre los pacientes dentro de un rango de normalidad. Por ello, ante la sospecha clínica de lesión ligamentosa del carpo con radiografías convencionales normales, puede ser útil para establecer el diagnóstico el

estudio comparativo con proyecciones en la muñeca contralateral y la toma de radiografías en posiciones forzadas o en estrés. Las más comunes son: (Linn y cols, 1990)

- En la proyección de puño cerrado el paciente aprieta el puño, mientras se obtiene una imagen anteroposterior o pósterioanterior. Si existe inestabilidad escafosemilunar, el hueso grande se trasladará proximalmente hacia el semilunar con el consiguiente ensanchamiento del gap escafosemilunar. Una variante más precisa de esta proyección es el “lápiz apretado”, con visualización más precisa del gap (Lawand y cols, 2003).
- En la proyección anteroposterior en desviación radial máxima el hueso semilunar se observa con morfología triangular porque está más flexionado. Esta proyección puede ser útil para poner de manifiesto la subluxación rotatoria del escafoides. Éste es un concepto relacionado con el movimiento anormal del escafoides respecto al radio que se produce cuando se lesiona el ligamento escafosemilunar. Se produce cuando el escafoides adopta una posición pronada y verticalizada (rotación), hasta que su polo proximal supera el borde dorsal de la fosa escafoidea del radio (subluxación).

En la proyección anteroposterior de muñeca en desviación radial máxima se observará el llamado “signo de anillo” al incidir el haz de rayos de forma axial al escafoides, observándose la impronta radiológica de la cintura del escafoides dentro de la silueta del hueso, que se mostrará con el mínimo tamaño al encontrarse verticalizado (Fig. 52) (Kleinman, 1987).



Fig. 52: Signo del anillo (*)

- En la proyección anteroposterior en desviación cubital el hueso escafoides se extiende y se observa más alargado y desaparece el signo del anillo. El hueso semilunar se visualiza con una morfología más trapezoidal. Si existe lesión del ligamento escafosemilunar, el gap puede aumentarse considerablemente. Una variante es la proyección de Stecher, que se realiza con el puño cerrado y en desviación cubital y ofrece una visualización más precisa del gap escafosemilunar (Dornberger y cols, 2015).
- Las proyecciones laterales en flexión y extensión forzadas permiten la detección de la inestabilidad escafosemilunar dinámica y estática: Si en flexión máxima el semilunar permanece extendido respecto al eje del radio (línea de 0° o neutra), podemos sospechar que existe una inestabilidad escafosemilunar estática. Sin embargo, si en flexión máxima el semilunar no

rebasa la línea del eje del radio, es probable que haya una inestabilidad escafosemilunar dinámica y por tanto oculta en la exploración radiográfica.

- Las proyecciones en semipronación de 45° se realizan colocando el antebrazo en supinación de 45° o pronación de 45°, apoyando sobre el chasis el margen cubital de la mano según la oblicuidad deseada (Schmitt y cols, 2006).

En 1981, Moneim describió la proyección tangencial de la muñeca como una proyección específica para el diagnóstico de la inestabilidad escafosemilunar mediante la detección del aumento del gap escafosemilunar con mayor precisión que la proyección anteroposterior pura. Para esta proyección, el paciente coloca la mano con el dedo índice apoyado en un bloque de goma de espuma de 20° y el pulgar en el chasis. Al hacer esto, las superficies articulares del escafoides y semilunar quedan paralelas al haz. El gap escafosemilunar normal visualizado en esta proyección oscila entre 0 y 1,6 mm, y un espacio de 2 mm se considera el límite superior de la normalidad (Moneim, 1981).

b) Cinematografía:

Consiste en la toma de una serie radiográfica para el estudio de la inestabilidad escafosemilunar que se puede realizar cuando los estudios de radiología convencional no muestran hallazgos patológicos concluyentes y existe alta sospecha de la lesión porque se escucha un "clic" o "clunk" patológico durante un determinado movimiento de la muñeca no explicable por causas fisiológicas. Hay varias modalidades disponibles: (Pliefke y cols 2008, Schmitt y cols, 2006)

- Cinematografía de película (50 imágenes por segundo)
- Videograbación con fluoroscopia (20-25 imágenes por segundo)

- Imágenes de artrografía por sustracción digital no restadas (6-30 imágenes por segundo)
- Documentación digital de fluoroscopia pulsada (15 fotogramas).

Las proyecciones usadas en la cinematografía son similares a las proyecciones de estrés descritas anteriormente. Debido a que el paciente generalmente conoce perfectamente qué movimiento desencadena la aparición del chasquido, se le debe pedir que realice activamente la maniobra de inestabilidad durante la documentación cinematográfica (Sulkers y cols, 2017).

c) Artrografía

La artrografía de muñeca es una técnica diagnóstica que consiste en la administración intraarticular de contraste para después tomar imágenes radiográficas. En la técnica clásica, en un primer tiempo se inyecta el contraste en las articulaciones mediocarpiana y radiocubital distal bajo control fluoroscópico, para a continuación introducirlo en la articulación radiocarpiana dos horas más tarde. Para realizar el procedimiento se puede utilizar una placa marcadora adhesiva con coordenadas radiopacas para proporcionar una guía de punción precisa y sencilla (Hafezi-Nejad y cols, 2016). La artrografía de muñeca permite la detección de defectos de comunicación con alta sensibilidad, pero presenta un bajo nivel de especificidad por su incapacidad para diferenciar las lesiones centrales asintomáticas de las lesiones de la periferia del ligamento. Hay que tener en cuenta que como consecuencia del proceso de degeneración fisiológica asociada a la edad, que comienza a partir de los 30 años, pueden observarse pequeños defectos centrales en el ligamento escafosemilunar sin que esto se traduzca en la existencia de una inestabilidad clínicamente relevante o pérdida de fuerza; normalmente son hallazgos asintomáticos o como mucho, pueden ser causa de leve molestia en la muñeca. En la artrografía, estos defectos pueden dar lugar a la existencia de flujo de contraste de forma uni o incluso bidireccional entre la articulación radiocarpiana y mediocarpiana, lo cual puede

inducir a error en el diagnóstico de inestabilidad escafosemilunar por ser un falso positivo de la prueba. Por lo tanto, se recomienda combinar la artrografía de muñeca con una resonancia magnética o un examen de tomografía computarizada para evaluar mejor los segmentos verdaderamente lesionados del ligamento (Berna-Serna y cols, 2006, Huflage y cols, 2021).

d) Ecografía

La ecografía con sonda lineal de alta frecuencia es una técnica de bajo coste económico, accesible y reproducible, pero de relativo valor diagnóstico incluso en manos de radiólogos experimentados para visualizar los ligamentos carpianos tanto intrínsecos como extrínsecos. Las roturas del ligamento escafosemilunar debe sospecharse ante el hallazgo de irregularidades, discontinuidades o ausencia del patrón ecogénico normal que tienen las bandas fibrilares del ligamento. Para magnificar la lesión y aumentar el rendimiento diagnóstico fundamentalmente en lesiones de bajo grado, el estudio ecográfico se puede realizar con maniobras dinámicas de "puño cerrado" que harán más evidente la posible lesión (Fabio y cols, 2022).

Para la detección de lesiones en la porción dorsal del ligamento escafosemilunar, la ecografía tiene una sensibilidad del 46% y una especificidad del 92%. La visualización de la porción volar del ligamento es limitada, y la porción proximal no se puede evaluar con esta técnica (Dao y cols, 2004).

El ligamento escafosemilunar tiene un patrón normal fibrilar e hiperecoico. Cuando existe lesión, se produce la pérdida de su ecoestructura, encontrándose hipoecoico o ausente. La ecografía tiene como ventaja el bajo coste, la ausencia de radiación ionizante y la relativa insensibilidad a los artefactos metálicos en la muñeca postoperatoria, pero presenta como inconvenientes que precisa alta cualificación y experiencia del radiólogo y que los valores de sensibilidad y especificidad que arrojan las distintas series es mejorable, por lo que su valor diagnóstico en la patología del ligamento escafosemilunar es muy

controvertido y su papel aún no está claro. Por estas razones los ultrasonidos actualmente sólo se pueden recomendar como complemento a otros estudios de imagen (Ramamurthy y cols, 2016).

e) Tomografía axial computarizada (TAC)

La tomografía computarizada multidetector (MDCT) es una herramienta valiosa para evaluar los espacios articulares de la muñeca, debido a su alta resolución espacial y a la ausencia de tejidos superpuestos. En las fases iniciales de la inestabilidad disociativa puede detectar el desplazamiento escafoides y el aumento del espacio escafosemilunar por lo que puede ser de gran ayuda para establecer el diagnóstico y por lo tanto el tratamiento en estadios más precoces, mejorando el pronóstico. El TAC es una herramienta precisa para la medición del ángulo escafosemilunar, hueso grande-semilunar y radiolunar. En estadios más avanzados puede poner de manifiesto hallazgos degenerativos incipientes en las articulaciones radioescafoidea y mediocarpiana debido a la mejor visualización de incongruencias de la superficie articular, deformidades óseas, defectos de cartílago, esclerosis ósea subcondral o la formación de quistes. También es útil en el estudio por imagen de la muñeca SLAC y para la planificación quirúrgica (Athlani y cols, 2020).

Si bien las lesiones ligamentosas no son directamente visibles en la tomografía computarizada simple, las imágenes de TAC después de la artrografía multicompartimental de la muñeca tienen un alto valor diagnóstico para las lesiones de los ligamentos interóseos, logrando resultados comparables a la artrografía por resonancia magnética en la detección de lesiones del ligamento escafosemilunar (Granero y cols, 2023).

Los inconvenientes de las imágenes por TAC son la elevada dosis de radiación, la incapacidad para obtener imágenes directas de la degeneración del cartílago sin inyectar contraste en las articulaciones, su limitación en la evaluación de las lesiones de los tejidos blandos y la falta de criterios estandarizados en la interpretación de los hallazgos (Kompoliti y cols, 2021).

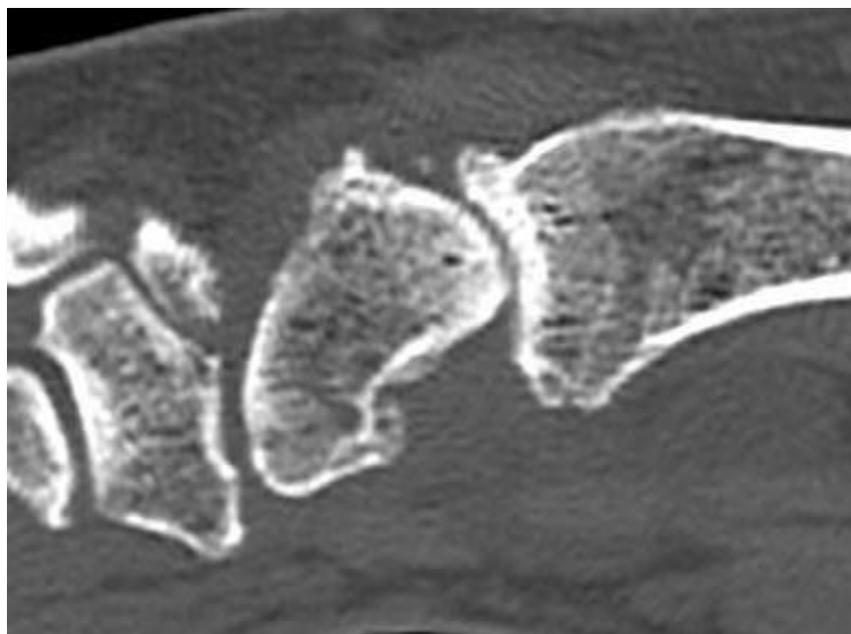


Fig. 53 y 54: Imágenes TAC de lesión del SLIL evolucionada a muñeca SLAC. Se observa diástasis escafosemilunar, aumento de la inclinación y subluxación dorsal del escafoides y cambios degenerativos: geodas en hueso grande y trapecio, calcificaciones periarticulares, esclerosis

subcondral en radio distal, afilamiento de estiloides radial y pinzamiento en la radiocarpiana y mediocarpiana.

f) Gammagrafía ósea

La gammagrafía ósea de la muñeca es una técnica de imagen en la que un radiofármaco, generalmente tecnecio-99, se inyecta y es captado transitoriamente por el tejido osteoarticular lesionado, haciendo posible su detección con una gammacámara. Mediante la exploración ósea trifásica se proporciona información no solo sobre la absorción ósea, sino también sobre el flujo sanguíneo y la distribución extravascular del radiotrazador, haciendo posible la distinción entre la lesión en los tejidos blandos y en el hueso, e identificando procesos agudos y crónicos, normalmente como apoyo al diagnóstico radiológico cuando otros estudios son negativos o dudosos. Un resultado positivo simplemente localiza el lugar de la lesión o la inflamación, por lo que esta prueba al tener baja especificidad puede tener valor cuando su resultado es negativo (Vande Streek y cols, 1998).

g) Resonancia nuclear magnética (RNM)

Es una técnica de imagen que ofrece imágenes de gran calidad para el estudio articular y de partes blandas de la muñeca sin ser invasiva. Por la complejidad anatómica de la articulación, los equipos de resonancia magnética precisan unas especificaciones técnicas muy exigentes: (Rominger y cols, 1993)

- Deben tener una alta resolución espacial.
- Relación señal/ruido optimizada.
- Adecuada relación de contraste/ruido.

Actualmente los equipos de 3.0 Tesla proporcionan imágenes de gran calidad y son razonablemente accesibles. Recientemente se están probando imanes de campo ultraalto 7.0 Tesla, pero su escasa disponibilidad hace que no se consideran equipos estándar.

Para tener suficiente precisión diagnóstica el grosor del corte en 2D no debe exceder los 2 mm y para las reconstrucciones 3D los 0,5 mm.

El campo de visión debe restringirse a 60-80 mm para que las imágenes tengan una resolución óptima, y puedan detectar alteraciones microestructurales.

Los estudios se pueden realizar sin contraste o con contraste (Schmitt y cols, 2003):

- En los estudios sin contraste, la tasa de detección de desgarros del ligamento escafosemilunar es del 55-60 % con relación a la artroscopia, y solo se pueden visualizar en secuencias ponderadas en T2 de forma indirecta cuando el derrame articular rodea el lugar del desgarro.
- En los estudios con contraste mediante la administración intravenosa de gadolinio, la potencia diagnóstica de la resonancia aumenta con una tasa de detección de lesiones ligamentosas del 80-95 % con relación a la artroscopia. La acumulación de gadolinio favorece la visualización de los desgarros en secuencias ponderadas en T1 saturadas con grasa, haciendo visible la lesión ligamentosa de forma directa gracias a la hiperemia del tejido que se produce por los mecanismos de reparación sinovial y fibrovascular. El agente de contraste se puede observar hasta seis meses después de la exploración.

Una variante de la RMN con contraste es la artrografía por RMN directa mediante la administración intraarticular de gadolinio diluído guiado por fluoroscopia. En comparación con la artroscopia, la artroresonancia tiene una sensibilidad y especificidad de más del 90 % cada una: (Lee y cols, 2013)

- Es una exploración en tiempo real, lo que permite detectar la distribución del medio de contraste en los diferentes compartimentos de la muñeca de forma instantánea si existen rupturas ligamentosas.

- La administración intraarticular del agente de contraste provoca la distensión de las articulaciones carpianas, mejorando la individualización de estructuras y favoreciendo la distinción de los ligamentos intrínsecos del carpo del cartílago articular circundante (Haims y cols, 2004).

- El gadolinio inyectado aumenta el contraste alrededor de los ligamentos haciéndolos visibles en secuencias ponderadas en T1.

Sin embargo, a pesar de ser relativamente fácil de realizar su disponibilidad es escasa debido a que es un procedimiento altamente especializado que no se realiza en muchos centros.



Fig. 55: Corte axial de estudio RMN en el que se observa diástasis escafosemilunar, aumento de líquido en la articulación escafosemilunar y rotura del SLIL



Fig. 56: Corte axial de estudio RMN en el que se observa diástasis escafosemilunar, y rotura del SLIL

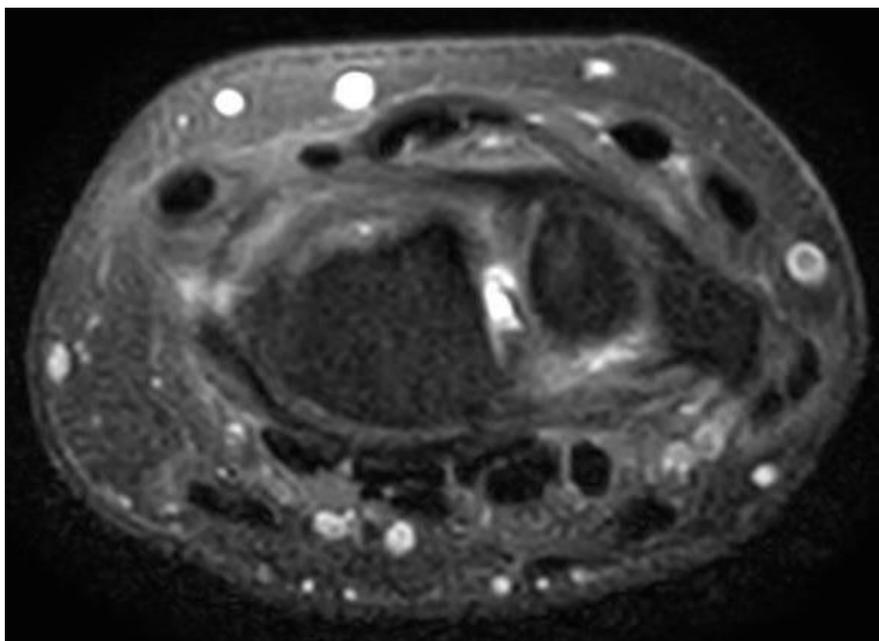


Fig. 57: Corte coronal de estudio RMN en el que se observa líquido en la articulación escafosemilunar y rotura del SLIL

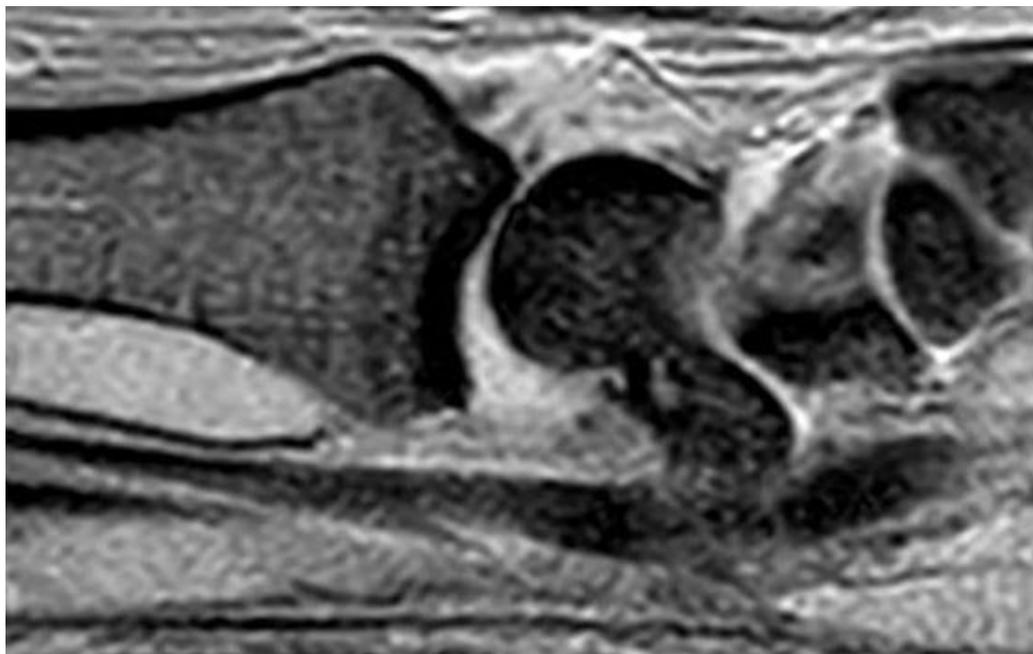


Fig. 58: Corte sagital de estudio RMN en el que se observa aumento de la inclinación volar del escafoides produciendo subluxación dorsal del polo proximal e incongruencia radioescafoidea

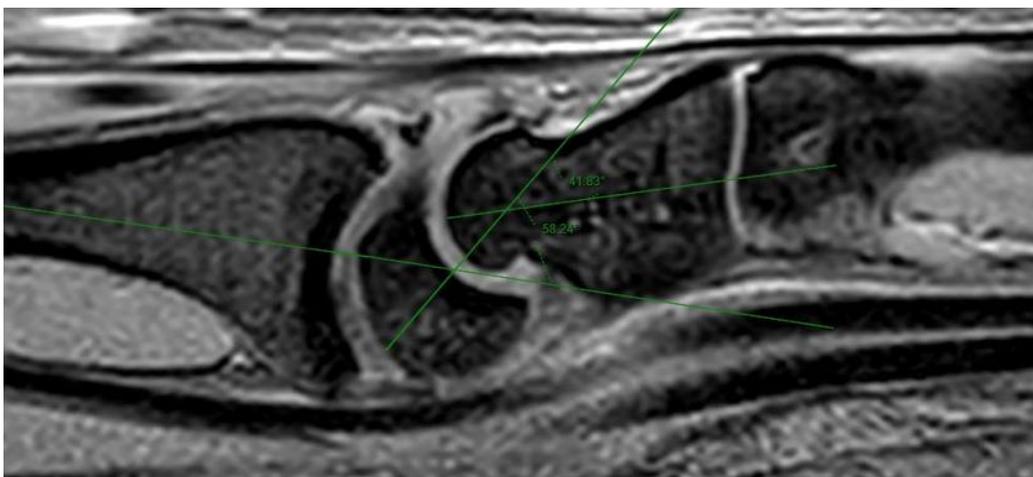


Fig. 59: Corte sagital de estudio RMN en el que se observa aumento de la inclinación dorsal del semilunar provocando un aumento del ángulo radiolunar (58,2°) y del ángulo capitolar (41,8°) (líneas verdes)

h) Artroscopia

La exploración artroscópica es el método de diagnóstico más fiable y preciso en pacientes con inestabilidad escafosemilunar. Es la prueba que más información aporta para comprender la inestabilidad del carpo: (Lindau, 2016)

- Permite la visualización directa del desgarramiento y el análisis del tipo y el grado de lesión del ligamento.
- Permite la evaluación de todas las estructuras anatómicas lesionadas,
- Aporta información para poder decidir la opción terapéutica más adecuada: reparar o reconstruir.
- Permite la visualización directa de las superficies articulares y el eventual grado de lesión del cartílago provocado por una biomecánica alterada

Es un método diagnóstico en tiempo real, por lo que puede ser la única forma de detectar la inestabilidad estática o dinámica cuando los estudios complementarios de imagen son negativos. Todos los hallazgos clínicos y artroscópicos deben interpretarse en el contexto de la historia, la edad y la dominancia de la mano del paciente antes de tomar decisiones finales con respecto al tratamiento.

Como se ha referido, en base a los hallazgos artroscópicos se han establecido los sistemas de clasificación más precisos y de mayor aceptación en la comunidad científica: (Geissler, 1996; Lindau y cols, 1997)

- Se han diseñado estudios prospectivos cuyos resultados aportan información valiosa y orientan al cirujano en la decisión terapéutica más adecuada (Forward y cols, 2007; Mrkonjic y cols 2015).
- Se han desarrollado algoritmos de tratamiento que favorecen una mayor orientación sobre la opción de tratamiento óptima (García-Elías, 2006).

Es fundamental confirmar que los hallazgos artroscópicos son realmente patológicos, lo cual depende en gran medida de la experiencia del cirujano, ya que las

consecuencias pueden ser catastróficas en pacientes sobretratados por la aparición de rigidez iatrogénica, dolor, cambios en la biomecánica del carpo y desarrollo de artritis secundaria: (North y Meyer, 1990)

- Si existe una verdadera inestabilidad con rotura del SLIL, puede observar la aparición de hipermovilidad patológica entre el escafoides y el semilunar.
- Por el contrario, también puede existir sensación falsa de inestabilidad al observarse el ligamento con un aspecto plegado y con hipermovilidad o laxitud constitucional.
- En el caso de lesiones evolucionadas, subagudas y crónicas (más de 12 semanas), el ligamento puede haber cicatrizado y haberse retraído, por lo que a veces es difícil emitir un juicio sobre su estado únicamente por su apariencia. Un desgarramiento parcial que ha cicatrizado y que provoca inestabilidad leve en un paciente puede representar una hipermovilidad o laxitud inherente a los ligamentos “normal” en otro individuo.
- Una exploración informada como normal puede ser patológica y que los hallazgos anormales pasen desapercibidos por ser sutiles o por la falta de experiencia del explorador.
- Una artroscopia informada como patológica a veces puede ser normal ya que la interpretación de los hallazgos artroscópicos a veces es difícil (Lindau, 2016).

La artroscopia también permite la evaluación del cartílago articular en las articulaciones radiocarpiana y mediocarpiana, lo cual también orientará hacia un tratamiento más apropiado: ante lesiones mínimas se puede optar por reparar o reconstruir el ligamento desgarrado; ante un colapso degenerativo del carpo, las opciones irán orientadas a procedimientos de salvamento, como fusiones parciales o totales de muñeca (Andersson, 2017).

Sin embargo, al ser una técnica invasiva no está exenta de riesgos. Se han documentado lesiones en el procedimiento: (De Smet, 2002)

- Lesiones vásculonerviosas en la realización de los portales y por el uso de agujas de Kirschner.

- Lesiones en el cartílago y tendones por el uso de nuevas y potentes sondas de radiofrecuencia.

- Rigidez postquirúrgica en la capsulodesis dorsal asistida por artroscopia (Darlis y cols, 2005).

g) Nuevas técnicas de imagen

- Tomografía computarizada de haz cónico (CBCT): Combina la geometría del haz en forma de pirámide con detectores planos a gran escala. Puede proporcionar una resolución espacial superior al TAC multidetector convencional con una dosis de radiación baja. Debido a la aparición en la última década de escáneres específicos dedicados a las extremidades, la CBCT ha ganado cada vez más protagonismo para el estudio osteoarticular de los miembros. Con la reciente aparición de sistemas de imagen capaces de realizar radiografía y fluoroscopia simultáneamente, la CBCT puede obtener imágenes de “ventana única”, reemplazando a la TAC multidetector en un futuro cercano para el diagnóstico de imágenes de trauma, como el estudio de lesiones inestables del carpo (Grunz y cols, 2020).

- Combinación de sistemas: La combinación de la grabación de movimiento con imágenes en 3D, la resonancia magnética dinámica y la “TAC de cuatro dimensiones” (tres dimensiones espaciales + tiempo) presenta otro concepto prometedor para la visualización de la cinemática de la muñeca. Si bien la cinematografía fluoroscópica sigue limitada a la detección de desalineaciones estructurales, estos métodos de imagen pueden proporcionar simultáneamente información adicional sobre la microarquitectura ósea, el cartílago adyacente e incluso representar los ligamentos interóseos del carpo (en el caso de una

resonancia magnética dinámica). En los últimos años se ha demostrado la aplicabilidad clínica de cualquiera de las técnicas. Sin embargo, tanto la TAC como la RNM dinámicas todavía se consideran procedimientos especializados que no se realizan regularmente en la práctica clínica diaria (Shaw y cols, 2019; Rauch y Arab, 2018).

- TAC cinemático o 4D (dimensiones ortogonales 3D + tiempo) consiste en un estudio multifásico con radiación de baja dosis de la muñeca. Los escáneres de detector de área amplia son particularmente adecuados para este tipo de adquisición utilizando el modo secuencial, lo que permite el análisis de toda el área de estudio en secuencias de imágenes de forma prácticamente instantánea. Esta evaluación cinemática mediante TAC permite el análisis directo de ligeros cambios posicionales en las relaciones óseas durante las maniobras de estrés y carga. Varios autores han demostrado el papel potencial de esta técnica para la evaluación de la inestabilidad carpiana, particularmente en casos iniciales cuando las pruebas de imagen convencionales no son concluyentes.

La aplicación clínica del TAC cinemático no es tan sencilla como puede parecer y hay poca información en la literatura sobre las maniobras de estrés ideales para realizar, aunque las más aceptadas son la posición de “lanzador de dardos”, la desviación radial y cubital y las maniobras de flexión-extensión forzada. El análisis semicuantitativo mediante esta modalidad de TAC proporciona una serie de mediciones angulares y longitudes estructurales realizadas en cada maniobra de estrés, lo que hace que la comparación de datos entre pacientes y la determinación del umbral sea difícil. Dado que actualmente este estudio TAC no es una técnica muy extendida y hay pocos trabajos sobre él, no existe consenso para establecer una indicación óptima para el análisis de datos mediante TAC cinemático semicuantitativo de la muñeca (Gondim y cols, 2017).

2.3.5 Tratamiento de las lesiones del ligamento escafosemilunar

El tratamiento de la inestabilidad escafosemilunar actualmente representa un desafío para la cirugía de la mano y la cirugía ortopédica en su conjunto, pues a pesar de que existen numerosas técnicas quirúrgicas para su tratamiento los resultados reportados hasta el momento actual han sido muy dispares y ninguna ha resultado ser claramente definitiva para la resolución del problema. Tomando como referencia la clasificación de las lesiones del ligamento escafosemiluna en 6 estadios propuesta por García Elías (García Elías y cols, 1997), podemos presentar un esquema general de tratamiento.

De forma global, podemos establecer que en las muñecas sin deformidad ósea fija nuestros esfuerzos deben ir encaminados a intentar restaurar las relaciones óseas mediante la cirugía de reparación ó de reconstrucción con aumento con tejidos blandos según sea necesario. Sin embargo, en las muñecas con deformidad fija, es más probable que los procedimientos de tejidos blandos fallen y sean necesarias intervenciones de rescate como la cirugía de fusión ósea, para intentar mantener la fuerza y la función y reducir el dolor y la incapacidad (Wu e Ilyas, 2022; Moran, 2007).

- *CORRELACIÓN CLÍNICO-RADIOLÓGICA Y TRATAMIENTO POR ESTADIOS:*
(García Elías y cols, 1997)

A) Estadio 1: Lesión parcial del ligamento escafosemilunar

El síntoma guía en un desgarro parcial del ligamento escafosemilunar suele ser el dolor. La radiología convencional probablemente sea normal, aunque en algunos casos podría mostrar un mínimo aumento del gap escafosemilunar. El estudio RMN puede aportar

información valiosa, sin embargo el diagnóstico más fiable se realiza mediante artroscopia de muñeca.

B) Estadio 2: Lesión completa del ligamento escafosemilunar con ligamento dorsal potencialmente reparable

En estas situaciones, al igual que en la lesión parcial, el síntoma guía sigue siendo el dolor y el diagnóstico radiológico puede ser controvertido por no detectar la lesión, por lo que el diagnóstico más fiable sería mediante la exploración artroscópica.

Ante un ligamento con potencial curativo podremos emplear opciones de tratamiento de preservación ligamentosa con reparación directa del mismo. Esta situación puede producirse ante desgarros en fase aguda o en casos de avulsión de su inserción ósea con presencia de un fragmento osteocondral, en cuyo caso la lesión ligamentosa podría ser menor.

C) Estadio 3: Lesión completa del ligamento escafosemilunar no reparable con alineación normal del escafoides

Al igual que en las situaciones anteriores, el síntoma guía sigue siendo el dolor y la radiografías pueden mostrar estructura ósea y articular de la muñeca normal porque los estabilizadores secundarios de la articulación escafosemilunar permanecen indemnes, lo cuál contribuirá a mantener la posición normal del escafoides en el carpo. Por la configuración anatómica del ligamento escafosemilunar, las lesiones que asientan en la porción medio-proximal tienen un bajo potencial de curación porque los extremos tienden a retraerse y degenerar rápidamente (Larsen y cols, 1995).

D) Estadio 4: Lesión completa del ligamento escafosemilunar no reparable con subluxación rotatoria reducible del escafoides

Al aparecer la subluxación rotatoria del escafoides, los ligamentos estabilizadores secundarios también estarán lesionados, por lo que las radiografías mostrarán anomalías apreciables, con un ángulo radioescafoideo anormalmente aumentado y la desviación del semilunar en sentido dorsal.

Estos cuatro estadios iniciales tienen en común que el tiempo de evolución desde la lesión hasta el diagnóstico suele ser razonablemente bajo, por lo que el carpo no muestra aún lesiones establecidas e irreversibles. Los objetivos del tratamiento en estas 4 fases deben ser:

- El restablecimiento de la conexión entre el escafoides y el semilunar
- La estabilización de la reducción conseguida entre ambos huesos
- El mantenimiento de la congruencia articular.

➤ **Opciones de tratamiento en los estadios 1, 2, 3 y 4:**

a) Reducción cerrada e inmovilización de forma aislada

El tratamiento ortopédico se puede indicar en fases agudas, donde la corrección de la desalineación mediante maniobras de reducción cerrada aún es posible. La maniobra consiste en la manipulación del escafoides hasta restaurar su posición normal seguida de

la inmovilización de la muñeca en “posición de camarero” (supinación máxima, desviación cubital y dorsiflexión media). Sin embargo, la reducción puede ser difícil de conseguir y la reducción difícil de mantener por la hipermovilidad del escafoides debido a la ausencia de estabilizadores:

- Al colocar la muñeca en extensión la diástasis escafosemilunar aumentara, lo que puede retrasar o impedir la curación del ligamento.

- Al flexionar la muñeca, el escafoides (que ya de por sí está flexionado) se verticaliza o incluso se subluxará en el dorso del radio distal.

Debido a la falta de fiabilidad de este procedimiento, muchos autores han abandonado este tratamiento en favor de otros métodos más agresivos, pero con resultados más predecibles (Tang, 1992).

b) Reducción cerrada y fijación con agujas Kirschner

Consiste en la reducción incruenta de la desalineación escafosemilunar guiada por fluoroscopia intraquirúrgica ó artroscopia para posteriormente fijarla con agujas de Kirschner colocadas de forma percutánea desde el dorso de la muñeca:

- La primera aguja es proximal y se coloca a nivel dorsorradial desde el escafoides al semilunar en dirección cubital.
- La segunda aguja es distal y se coloca desde el semilunar al escafoides en sentido radial.

Con estas dos agujas se suele conseguir suficiente estabilidad y los resultados son satisfactorios cuando la reducción es óptima. Se pueden colocar otras agujas desde el escafoides y el semilunar a otros huesos del carpo para aportar fijación complementaria (Whipple, 1995).

c) Desbridamiento artroscópico

Se indica fundamentalmente en desgarros parciales en su fase aguda, donde los restos del ligamento escafosemilunar deshilachado pueden provocar sinovitis e irritación intraarticular en las estructuras adyacentes. Se puede realizar de forma aislada o junto con la técnica anterior (Weiss y cols, 1997). En la actualidad rara vez se realiza.

d) Retensado del ligamento mediante electrocauterización

Está indicada en situaciones en las que el ligamento no se rompe, pero es insuficiente para mantener la estabilidad por estar anormalmente elongado ó presente hiperlaxitud. Consiste en el acceso artroscópico para la aplicación de energía electrotérmica al ligamento lesionado mediante un cauterizador para provocar un aumento de temperatura en el ligamento que provoque la alteración microestructural (desnaturalización) y posterior contracción de las fibrillas de colágeno tipo I, formando una masa de colágeno retraída que aporta al ligamento mayor rigidez.

El procedimiento no está exento de complicaciones; la generación de energía térmica puede provocar la lesión del cartílago de las superficies articulares y de las estructuras neurovasculares periarticulares. El exceso de calor puede inducir la necrosis de las fibras de colágeno del ligamento cuando se aplica una temperatura superior a 80°C. Para minimizar el riesgo de lesión iatrogénica se recomienda aplicar una temperatura entre 65°C y 80°C con la cuál se conseguiría la desnaturalización y contracción del colágeno sin necrosis y se minimizaría el riesgo de lesión iatrogénica de estructuras periarticulares (Hirsh y cols, 2005).

e) Reducción abierta, reparación del ligamento y fijación interna

Su indicación se restringe a lesiones circunscritas a la porción dorsal del SLIL con integridad de estabilizadores secundarios y ausencia de cambios degenerativos. Consiste en el acceso directo a la muñeca por vía dorsal para la reparación in situ de la porción dorsal del ligamento escafosemilunar mediante sutura término-terminal (roturas de la porción media) ó anclajes transóseos (avulsiones). La cirugía abierta tiene como ventajas la visualización directa del ligamento lesionado y el control preciso de la reducción y posterior fijación de la articulación escafosemilunar (Bickert y cols, 2000). Es imprescindible que la lesión lleve poco tiempo de evolución para que quede un remanente tisular apropiado para la reparación.

f) Capsulodesis dorsal

La capsulodesis dorsal (Blatt, 1987) es un procedimiento que consiste en la reducción del escafoides a su posición anatómica y su estabilización con un colgajo de cápsula dorsal. Este colgajo tiene una base proximal que mantiene su origen en el aspecto dorsal del radio distal y un extremo libre que se inserta en una ranura realizada en el dorso del escafoides distal a su eje de rotación. El colgajo capsular se inserta una vez se ha conseguido la reducción del escafoides a su posición nativa y le confiere estabilidad actuando como restrictor a la flexión patológica y a la subluxación dorsal durante los movimientos de flexión. Sus indicaciones más destacadas son las siguientes (Eng y cols, 2014; Wintman y cols, 1995):

- Técnica accesoria de refuerzo o aumento en la reparación de las roturas del ligamento escafosemilunar.
- Aumento de la estabilidad en los casos en los que el ligamento está roto pero no es candidato a la reparación quirúrgica.

- Aumento de estabilidad cuando el ligamento es insuficiente.
- Daños significativos en los estabilizadores secundarios.

Posteriormente otros autores han desarrollado nuevas técnicas variantes de la capsulodesis clásica (Delattre y cols, 2011; Viegas y Dasilva, 2000) y artroscópica (Mathoulin y cols, 2011).

- Técnica modificada de Mayo (Luchetti y cols, 2010)

Es una modificación de la técnica clásica en la que la reducción escafosemilunar se mantiene con agujas de Kirschner y la capsulotomía dorsal se realiza mediante un colgajo proximal del ligamento dorsal intercarpiano que se desplaza proximalmente y se inserta al aspecto dorsal del semilunar reducido. El colgajo se obtiene por la división del 50% del ligamento intercarpiano dorsal, el cuál se disecciona del aspecto dorsal del piramidal para y del escafoides distal, donde se encuentra firmemente insertado; a continuación, se reduce el escafoides en posición anatómica y se bloquea la articulación escafosemilunar con 2 o 3 agujas de Kirschner. Una vez estabilizada, el colgajo se sutura al origen del ligamento radiocarpiano dorsal y al semilunar utilizando anclajes de sutura (Megerle y cols, 2012; Yang y cols, 2013).

La capsulodesis consigue que la fuerza de agarre sea adecuada, pero tiene como inconveniente más relevante la limitación de la flexión de la muñeca, con una disminución estimada de entre 12° y 20° (Moran y cols, 2005).

g) Injertos hueso-ligamento-hueso y hueso/retináculo hueso:

Son un conjunto de técnicas quirúrgicas consistentes en la reconstrucción de la porción dorsal del ligamento escafosemilunar con injertos hueso-ligamento-hueso y hueso-retináculo-hueso. Se emplean cuando el ligamento nativo presenta una lesión crónica o una lesión subaguda con escaso potencial de curación por presentar intenso deterioro. Los injertos más usados son: (Weiss, 1998)

- Hueso – retináculo extensor – hueso
- Ligamento trapecio – metacarpiano dorsal
- Ligamento tarsometatarsal
- Ligamento hueso grande – piramidal
- Otros colgajos: colgajo perióstico de la cresta iliaca, colgajos vascularizados, colgajos de membrana interósea (Schuind, 1995; Kalb y Markert, 2003).

En la actualidad hay mucha incertidumbre con respecto a los resultados a largo plazo de los autoinjertos de hueso-retináculo-hueso y hueso-ligamento-hueso, ya que en sólo reconstruyen el componente dorsal del ligamento, son incapaces de restablecer la porción proximal y volar del mismo. No hay referencias recientes sobre estas técnicas en la literatura científica (Harvey y cols, 2006).

h) Tenodesis

Las tenodesis son técnicas quirúrgicas de reconstrucción del ligamento escafosemilunar usando un injerto de tendón libre o pediculado. Tienen como objetivo reducir la diástasis escafosemilunar, la deformidad DISI, y la restauración de la anatomía articular y el mantenimiento de la congruencia articular. Están indicadas fundamentalmente en el estadio 4 de la clasificación García-Elias cuando existe inestabilidad estática (Ross y cols, 2013). Antes de indicarlas es fundamental comprobar el carácter reducible de la inestabilidad mediante estudios radiológicos, una exploración artroscópica y mediante la comprobación intraquirúrgica in situ durante la disección y tras la realización de la

capsulotomía dorsal (Luchetti y cols, 2013). La técnica original fue descrita por Linscheid y Dobyns en 1975 (Linscheid y Dobyns, 1992) y consistía en la estabilización articular pasando una tira de tendón *extensor carpi radialis brevis* a través del escafoides y semilunar mediante la perforación de túneles oblicuos para recrear el ligamento interóseo. Esta técnica inicial tuvo como principal complicación la interferencia en el aporte de sangre al hueso y por lo tanto la aparición de fracturas. Desde finales de la década de 1970 se han descrito varias técnicas que han intentado perfeccionar el procedimiento primitivo descrito por Dobyns. (Wu e Ilyas, 2022). Actualmente existen varios tipos de tenodesis que podemos clasificar según la fuente de tendón usada. Las más representativas son las siguientes: (Athlani y cols, 2018)

1) Tenodesis usando el tendón *extensor carpi radialis brevis* (ECRB)

- i. Tenodesis de Almquist
- ii. Tenodesis de Linscheid y Dobyns
- iii. Tenodesis de Brunelli
- iv. Tenodesis de Papadogeorgoy y Mathoulin

2) Tenodesis usando el tendón *extensor carpi radialis longus* (ECRL)

- i. Tenodesis de Bleuler
- ii. Tenodesis de De Carli

3) Tenodesis usando el tendón *flexor carpi radialis* (FCR)

- i. Tenodesis de Brunelli & Brunelli
- ii. Tenodesis de Van Den Abbeelee
- iii. Tenodesis de Henry
- iv. Tenodesis artroscópica de Corella
- v. Tenodesis escafo-piramidal de Ross
- vi. Tenodesis del ligamento cuádruple de Bain
- vii. Tenodesis de tres ligamentos de García-Elías

4) Tenodesis usando el tendón *palmaris longus* (PL)

- i. Técnica de Elsaftawy
- ii. Técnica de Pauchard y Dautel

1) Tenodesis usando el tendón extensor carpi radialis brevis

i. Tenodesis de Almquist: (Almquist y cols, 1991)

Esta técnica se realiza obteniendo una plastia de tendón *extensor carpi radialis brevis* que se pasa mediante la perforación de túneles transóseos en sentido anteroposterior a través del hueso grande, el polo proximal del escafoides, el margen radial del semilunar y el radio distal, donde se inserta dorsalmente. Almquist documenta los siguientes resultados:

- Rango de movilidad postoperatoria promedia: 52° de extensión y 37° de flexión.
- Fuerza de agarre promedia: 73 %
- Reducción del gap escafosemilunar promedio: 4mm (preoperatorio) vs. 10 mm (intraoperatorio) vs. 3,3 mm (postoperatorio).
- Reincorporación a actividades previas: 86% de los pacientes.
- Ausencia de cambios degenerativos avanzados en los años posteriores al tratamiento.

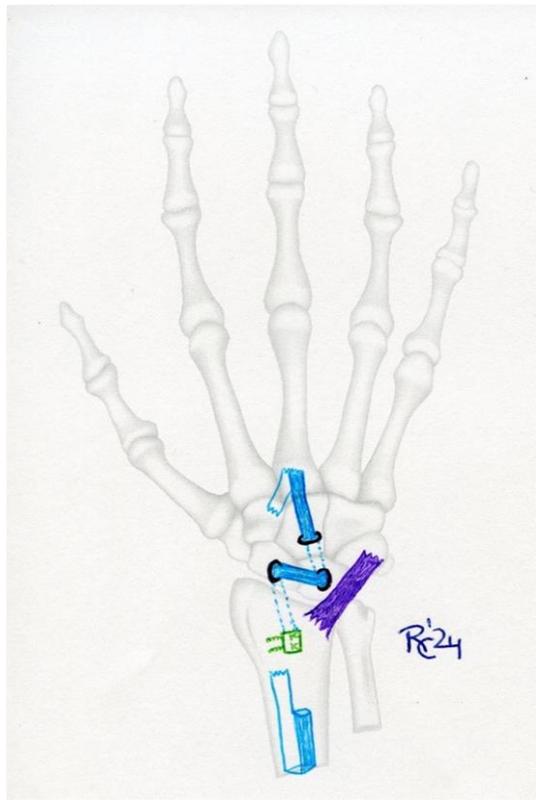


Fig. 60: Tenodesis de Almquist. Azul: Tendón ECRB. Morado: LRCO.
Verde: Sistema de fijación de la plastia al radio.

ii. Tenodesis de Linscheid y Dobyns (Linscheid y Dobyns, 1992)

En 1992, Linscheid y Dobyns describieron una técnica de tenodesis para recrear el ligamento escafosemilunar usando un pedículo distal del tendón ECRB. Una vez obtenido el tendón, se pasa a través del polo distal del escafoides mediante la perforación de un túnel transóseo. A continuación, la plastia se desliza por debajo del ligamento radiocarpiano dorsal para reflejarla en él, haciéndola recurrente. El extremo de la plastia se sutura así mismo sin anclarla al hueso y sin actuar sobre la articulación radiocarpiana.

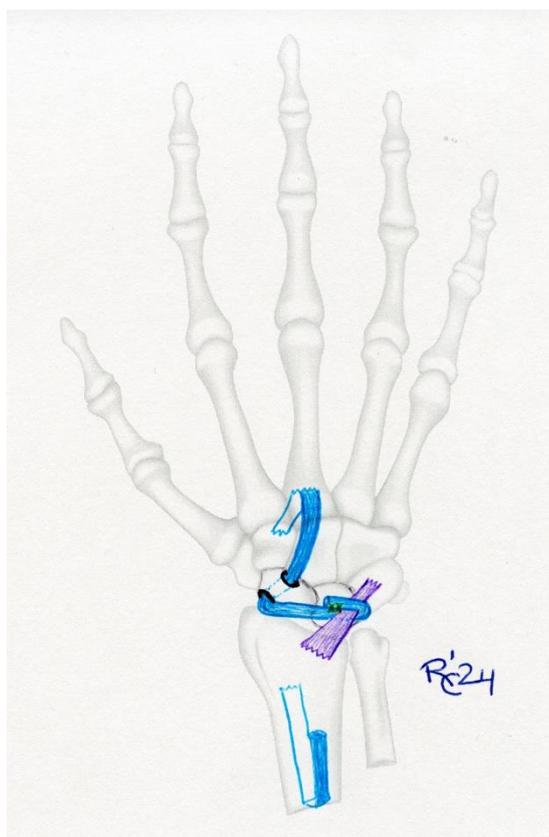


Fig. 61: Tenodesis de Linscheid y Dobyns. **Azul:** Tendón ECRB. **Morado:** LRCD. **Verde:** Sutura del cabo recurrente a sí misma.

iii. Tenodesis de Brunelli (Brunelli y cols, 2004)

Es una técnica de transferencia muscular activa de un pedículo proximal de tendón ECRB. Una vez obtenida la plastia, se realiza un acortamiento de 1 cm y se inserta en el polo distal del escafoides mediante 2 anclajes transósseos. Para asegurarse de que el escafoides se mantenga en eje con el carpo y el radio, se hace pasar la plastia por el tubérculo de Lister que actúa a modo de polea. La técnica fue descrita por Brunelli tras aplicarla en un varón de 22 años con inestabilidad escafosemilunar estática postraumática de 6 meses de evolución. Los resultados documentados son favorables, con una adecuada reducción de la articulación, rango de movilidad óptimo y ausencia de dolor en el seguimiento radiológico a los 8 meses de postoperatorio.

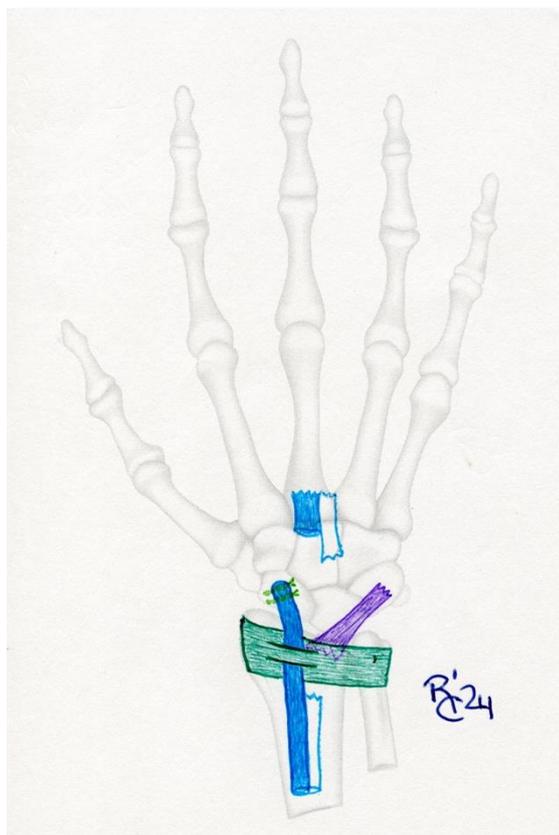


Fig. 62: Tenodesis de Brunelli. Azul: Tendón ECRB. Morado: LRCD. Verde oscuro: Retináculo dorsal. Verde claro: sistema de anclaje de la plastia al escafoides.

iv. Tenodesis de Papadogeorgoy y Mathoulin (Papadogeorgou, C. Mathoulin, 2010)

Esta técnica usa un pedículo distal del tendón ECRB que se pasa alrededor del ligamento radiocarpiano dorsal desde el plano superficial al profundo. El extremo de la plastia se fija al aspecto dorsal del polo distal del escafoides mediante un anclaje transóseo. Para aumentar la estabilidad escafosemilunar y favorecer el mantenimiento de la reducción, en esta técnica se describe la fijación temporal de la articulación escafosemilunar con un tornillo. Los resultados que documentan los autores en la descripción de la técnica son:

- Reducción significativa del dolor
- Aumento de la fuerza de agarre
- Reducción en el rango de flexión de 46° (preoperatoria) a 42° (postoperatoria)
- Restauración del ángulo escafosemilunar a menos de 60° en promedio.

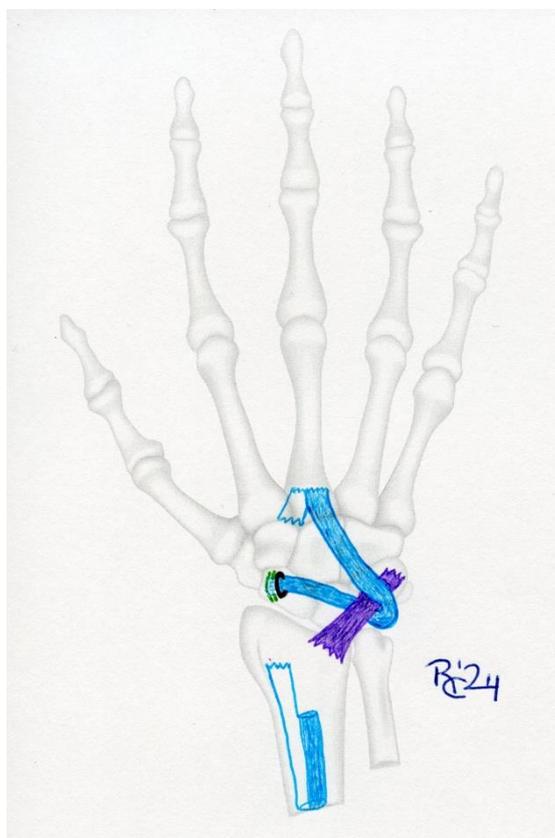


Fig. 63: Tenodesis de Papadogeorgoy y Mathoulin. **Azul:** Tendón ECRB. **Morado:** LRCO. **Verde:** sistema de anclaje de la plastia al escafoides.

2) Tenodesis usando el tendón extensor carpi radialis longus

i. Tenodesis de Bleuler (Bleuler y cols, 2008)

Es una técnica de tenodesis en la que se obtiene un pedículo proximal del tendón ECRL que se fija al aspecto dorsal del polo distal con un tornillo de esponjosa con la intención de mantener la posición corregida del escafoides aumentando las cargas de extensión en él. La técnica originalmente fue descrita por Bleuler en 2008; posteriormente, Peterson y Freeland en 2010 la modificaron realizando la fijación del tendón al tubérculo del escafoides mediante la realización de un túnel ciego en el que se introduce el tendón y se fija con anclajes transósseos (Peterson y Freeland, 2010).

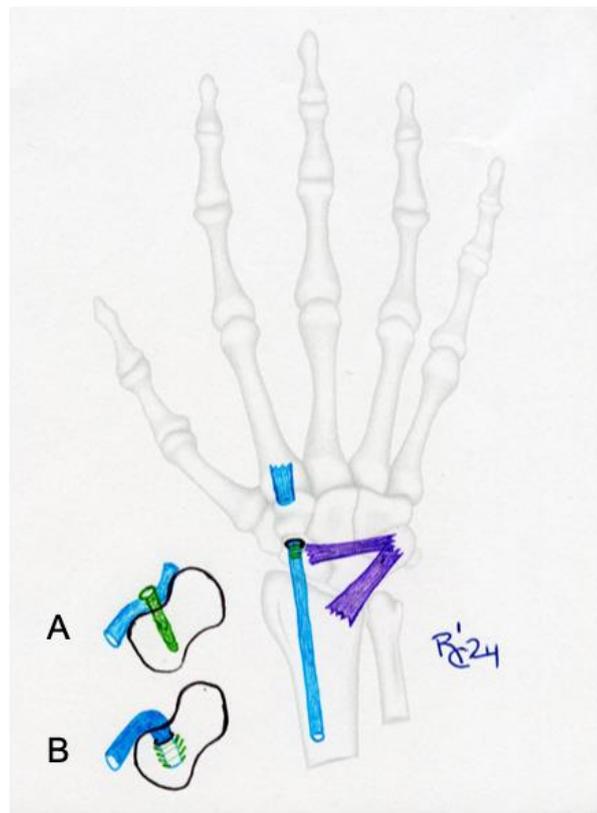


Fig. 64: Tenodesis de Bleuler (A) y tenodesis modificada de Peterson y Freeland (B) Azul: Tendón ECRL. Morado: LRCD. Verde: sistema de anclaje de la plastia al escafoides.

ii. Tenodesis de De Carli (De Carli y cols, 2011)

En 2011, De Carli describió una técnica de tenodesis con un pedículo distal del tendón *extensor carpi radialis longus* que se ancla al escafoides y al semilunar mediante tres anclajes transóseos con la siguiente secuencia:

- El primer anclaje es el más distal fija el tendón al aspecto dorsal del polo distal del escafoides, corrigiendo la flexión.
- El segundo anclaje se fija en el aspecto dorsal del polo proximal del escafoides.
- El tercer anclaje es el más cubital y se fija en el aspecto dorsal del semilunar. Junto con el anterior, recrean la porción dorsal del ligamento escafosemilunar.

El remanente libre del pedículo de tendón se sutura a la porción distal del ligamento radiocarpiano dorsal, para aumentar el momento de fuerzas radiales con la intención de contrarrestar la traslación cubital del carpo y la extensión del semilunar. Los autores desarrollaron la técnica en un grupo de ocho pacientes con seguimiento de 1 año, observando la reducción del gap escafosemilunar pasando de 4,6 mm (preoperatorio) a 2,6 mm (postoperatorio) en promedio, y una reducción del ángulo escafosemilunar, pasando de 82° (preoperatorio) a 60° (postoperatorio) en promedio. Posteriormente, publicaron la técnica con la combinación de una capsulodesis dorsal, con resultados satisfactorios: (De Carli y cols, 2017)

- Flexión 55° (73%), extensión 62° (90%)
- Desviación radial 19° (82%), desviación cubital 44° (90 %).
- Fuerza de agarre de 44 kg (92%).
- Franca mejoría del dolor en reposo y en actividad

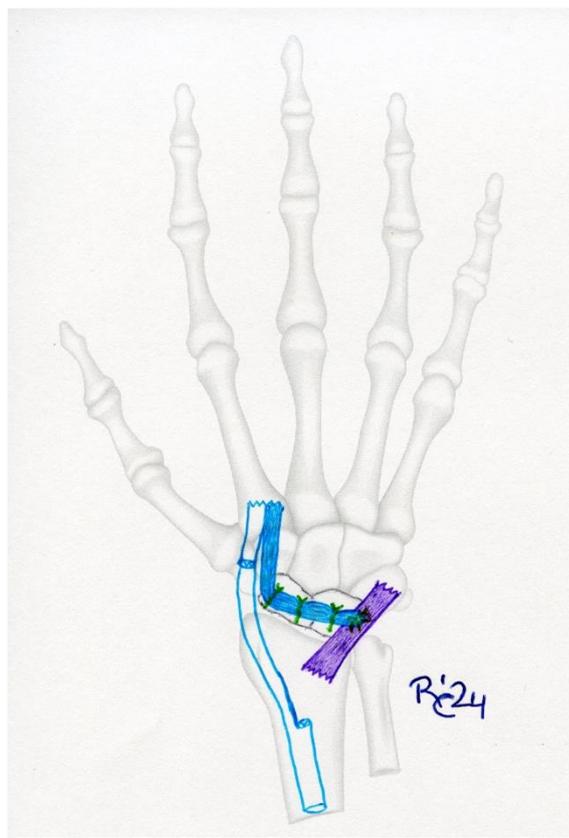


Fig. 65: Tenodesis de De Carli. **Azul:** Tendón ECRL. **Morado:** LRCO. **Verde:** sistema de anclaje de la plastia al escafoides y al semilunar y sutura del extremo al LRCO.

3) Tenodesis usando el tendón flexor carpi radialis

i. Tenodesis de Brunelli & Brunelli (Brunelli GA y Brunelli GR, 1995)

En 1995, G.A. Brunelli y G.R. Brunelli describieron un procedimiento de tenodesis para la estabilización escafosemilunar utilizando un pedículo distal de tendón *flexor carpi radialis*.

Tras obtener el pedículo, se pasa a través de un túnel transóseo realizado en el polo distal del escafoides, en dirección anteroposterior, llevando el tendón desde su situación palmar hasta la región dorsal del carpo. Una vez el tendón se encuentra en el aspecto dorsal del escafoides, se sutura a los restos de la porción dorsal del ligamento escafosemilunar para terminar insertándolo mediante anclajes transósseos en el aspecto dorsal del radio distal, puenteando la articulación radiocarpiana.

Como peculiaridades de esta técnica cabe destacar:

- No hay fijación al semilunar para dar independencia al movimiento del escafoides con respecto al movimiento del semilunar.
- No se realiza un túnel transóseo en el polo proximal del escafoides. Esto tiene otros beneficios colaterales: el polo proximal del escafoides es un punto habitual de fracturas, osteonecrosis y mala integración ósea del tendón transferido. Estos riesgos se minimizan con esta técnica.

Los autores documentan los siguientes resultados a los 2 años de seguimiento:

- Flexión de la muñeca pérdidas de entre 30-60 %.
- Fuerza de agarre: reducción del 25 % respecto a la muñeca contralateral, pero mejoría del 50 % respecto a nivel preoperatorio.
- Reducción significativa del dolor, incluso ausencia de dolor en el 85% de los pacientes.

- Radiológicamente, los autores concluyeron que la inestabilidad de la articulación escafosemilunar se mantenía corregida y no recidivó, pero no dieron ninguna información sobre lo que ocurría con el gap ni con el ángulo escafosemilunar.

La técnica fue perfeccionada posteriormente asociando una reconstrucción del ligamento escafo-trapezoidal (Brunelli GA y Brunelli GA, 2003).

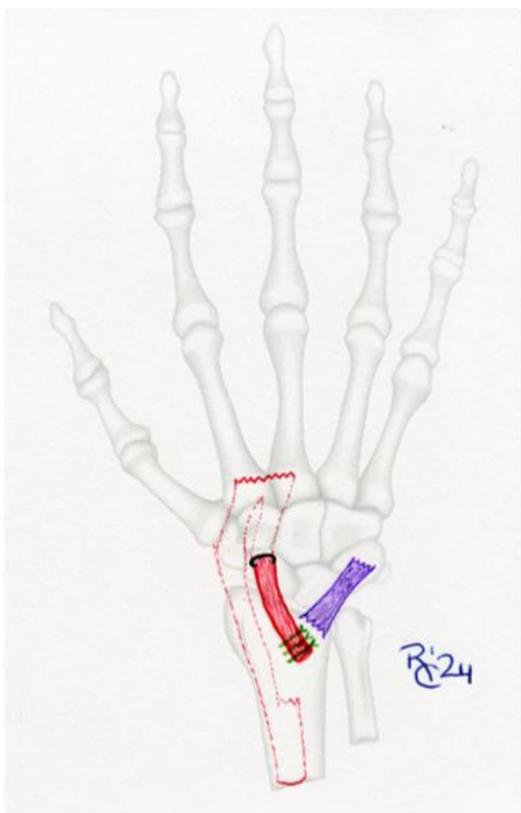


Fig. 66: Tenodesis de Brunelli & Brunelli. **Rojo:** Tendón FCR. **Morado:** LRC. **Verde:** sistema de fijación de la plastia al dorso del radio.

ii. Tenodesis de Van Den Abbeele (Van Den Abbeele y cols, 1998)

Es un procedimiento quirúrgico que modifica la técnica de Brunelli. Los pasos iniciales son los mismos, y difiere de ella en que una vez se realiza la sutura del tendón FCR al remanente de la porción dorsal del ligamento escafosemilunar, el extremo libre no se ancla al aspecto dorsal del radio distal, sino que se pasa por la cara volar del ligamento radiocarpiano dorsal, se refleja en él y se sutura a sí mismo. Con este gesto se evita el puenteo de la articulación radiocarpiana con la consiguiente minimiación de la pérdida de flexión que ocasiona.

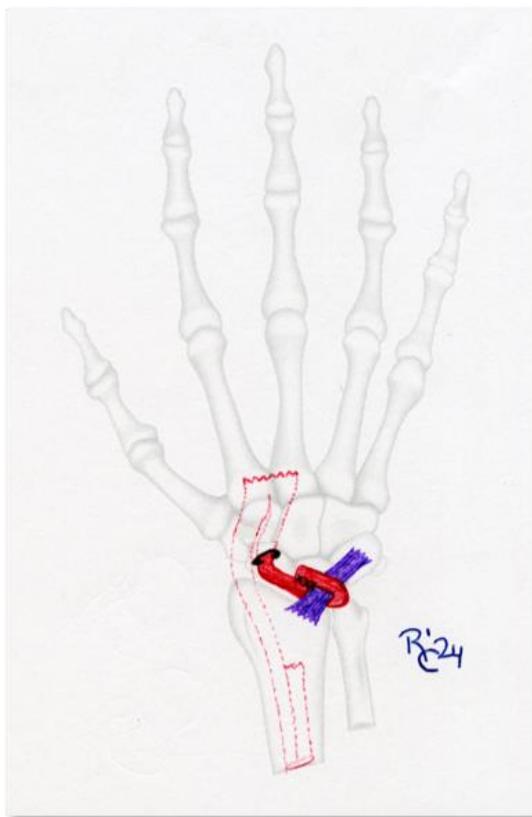


Fig. 67: Tenodesis de Van den Abbeele. **Rojo:** Tendón FCR. **Morado:** LRCd. **Verde:** sistema de sutura del extremo recurrente de la plastia a sí misma.

iii. Tenodesis de Henry (Henry, 2013)

En esta técnica, el pedículo de tendón FCR se hace pasar a través del escafoides y semilunar por dos túneles transóseos:

- Un túnel oblicuo en el escafoides en sentido palmar a dorsal: se realiza desde el polo distal hacia el polo proximal, para que el orificio se sitúe cerca de la inserción primitiva de la porción dorsal del ligamento escafosemilunar nativo.
- Un túnel oblicuo en el semilunar en sentido dorsal a palmar y desde su margen cubital al radial, para que el orificio se sitúe cerca de la inserción primitiva de la porción volar del ligamento escafosemilunar nativo.

En primer lugar, se obtiene el pedículo de tendón FCR y se pasa por el túnel escafoideo, llevándolo al dorso del carpo. A continuación, se dirige hacia el semilunar y se introduce por el túnel desde el dorso hacia la región palmar. Con este gesto se reconstruye la porción dorsal del SLIL. Una vez que el injerto se recupera a su salida del túnel semilunar, se sutura al tendón FCR restante para reconstruir la porción palmar del ligamento escafosemilunar. Los resultados documentados por el autor fueron:

- Ausencia de dolor.
- Fuerza de agarre similar a muñeca contralateral.
- Balance articular en flexo extensión similar a muñeca contralateral.
- Parámetros radiológicos: Gap escafosemilunar reducido de 5 mm a 2,5 mm, y ángulo escafosemilunar reducido de 80° a 46°.

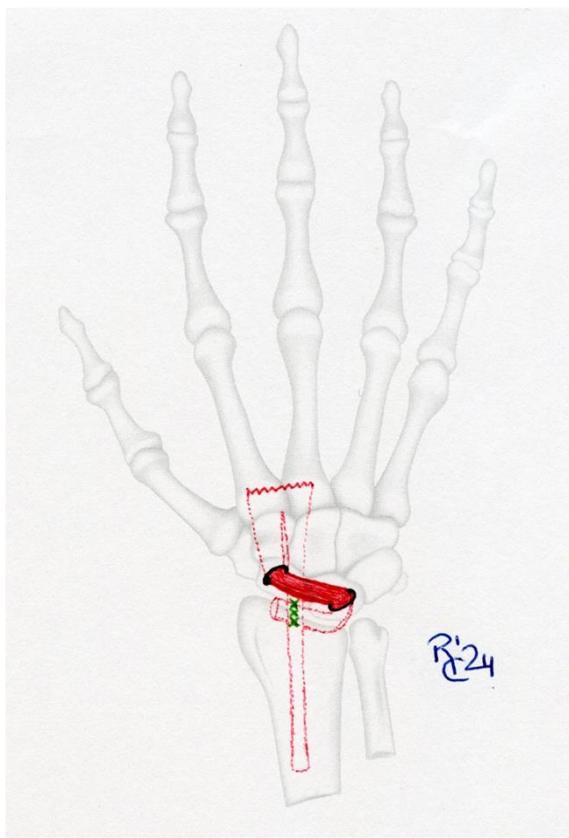


Fig. 68: Tenodesis de Henry. **Rojo:** Tendón FCR. **Verde:** sistema de sutura del extremo de la plastia al tendón FCR.

iv. Tenodesis artroscópica de Corella (Corella y cols, 2013)

Consiste en una reconstrucción artroscópica de las porciones palmar y dorsal del ligamento escafosemilunar en casos de inestabilidad predinámica y dinámica. Al ser una técnica mínimamente invasiva se respetan al máximo las partes blandas de la muñeca, particularmente los ligamentos extrínsecos del carpo. Para la realización de este procedimiento se realizan los siguientes abordajes quirúrgicos:

- Portales artroscópicos radiocarpianos y mediocarpianos estándar
- Abordaje dorsal y volar sobre el semilunar

- Abordaje palmar distal para acceso al tubérculo del escafoides y al FCR.

Pasos del procedimiento:

- En primer lugar, se realiza una artroscopia de muñeca estándar para confirmar el diagnóstico, determinar su estadio y evaluar las superficies articulares y existencia de cualquier lesión asociada.
- En segundo lugar, mediante control artroscópico se realizan dos túneles transóseos:
 - Uno en el escafoides con orientación oblicua desde el tubérculo hacia la inserción proximal de la porción dorsal del ligamento escafosemilunar
 - Otro en la mitad del semilunar de dorsal a volar, paralelo a la superficie articular.
- En tercer lugar, se obtiene un pedículo distal del tendón FCR.
- En cuarto lugar, se pasa el injerto a través de los túneles transóseos: primero por el escafoides de palmar a proximal-dorsal y en segundo lugar por el semilunar en sentido dorsal a palmar).
- A continuación, se tensa con la suficiente fuerza para reducir la diástasis escafosemilunar y se fija en los túneles utilizando tornillos interferenciales absorbibles en el escafoides (en la entrada distal-palmar del túnel) y en el semilunar (en la entrada dorsal del túnel). Con esta maniobra se reconstruye la porción dorsal del ligamento escafosemilunar.
- Por último, se sutura el remanente de tendón a la cápsula palmar mediante suturas artroscópicas fuera dentro, reconstruyendo así la porción volar del ligamento

Las ventajas de esta técnica son: (Corella y cols, 2011)

- Reducción en el daño en los tejidos blandos (evitando un abordaje extenso, lesiones en los estabilizadores secundarios y minimizando el tejido cicatricial)
- Evita la lesión en el nervio interóseo posterior (manteniendo la propiocepción de la muñeca y el papel de los estabilizadores dinámicos)

- Es una biotenodesis que garantiza la colocación, la tensión y la funcionalidad adecuadas en la reconstrucción del ligamento.



Fig. 69: Tenodesis artroscópica de Corella. **Rojo:** Tendón FCR. **Verde:** sistema de sutura del extremo de la plastia a la cápsula palmar.

v. Tenodesis escafo-piramidal de Ross (Ross y cols, 2013)

Es una técnica distinta a las descritas previamente porque involucra al piramidal y al hueso grande. Consiste en la realización de un túnel transóseo en el polo proximal del escafoides en dirección anteroposterior y dos túneles con orientación sagital en el semilunar y en el piramidal respectivamente. El pedículo se introduce en primer lugar por el túnel del escafoides, en segundo lugar, por el túnel del semilunar y finalmente por el del piramidal,

donde se tensa lo suficiente para mantener corregida la subluxación del escafoides y el gap escafosemilunar, y se fija con un tornillo interferencial. El remanente del injerto se usa para la reconstrucción del ligamento dorsal intercarpiano, para lo cual puentea la articulación mediocarpiana hasta llegar al hueso grande, donde se desliza por su aspecto dorsal, y se dirige a la cintura del escafoides, donde se inserta con un anclaje de sutura reabsorbible.

Los resultados de esta técnica reportados por los autores son los siguientes:

- Reducción significativa del dolor
- Mejora significativa en la fuerza de agarre
- Pérdida de 27° en promedio en el rango de flexo-extensión (130° frente a 103°).
- Radiológicamente consigue la reducción significativa en el gap escafosemilunar de 4,1 mm hasta 1,6 mm, y del ángulo escafosemilunar de 80° hasta a 56° en promedio.

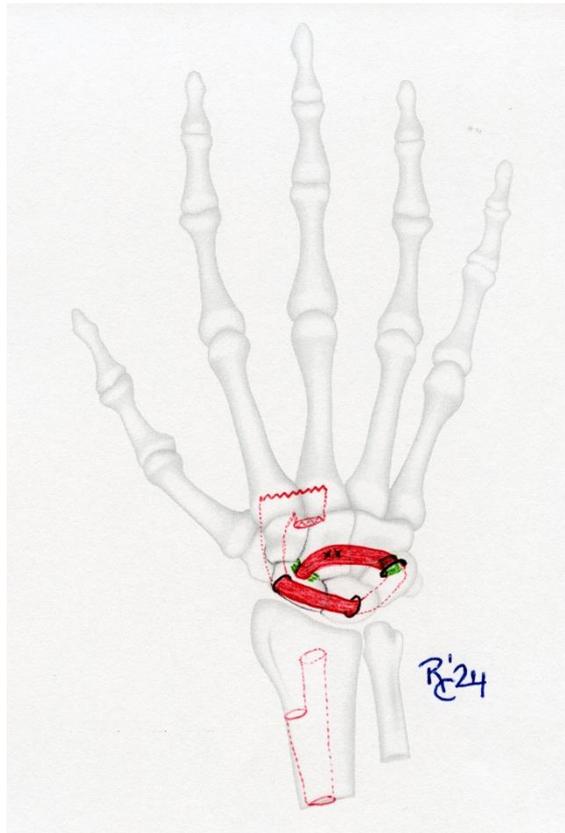


Fig. 70: Tenodesis escafo-piramidal de Ross. **Rojo:** Tendón FCR. **Verde:** sistemas de fijación de la plastia al túnel del semilunar y del extremo de la plastia al dorso del escafoides.

vi. Tenodesis de ligamento cuádruple de Bain (Bain y cols, 2013)

Es una compleja técnica de tenodesis con un pedículo distal del FCR para la reconstrucción de la porción dorsal del ligamento escafosemilunar, el ligamento radiocarpiano dorsal y el ligamento dorsal intercarpiano.

La técnica consiste en la creación de un túnel anteroposterior en el polo distal del escafoides por el que se pasa el injerto FCR de volar a dorsal. Una vez el injerto está en el dorso del polo distal, se reconduce hacia el polo proximal justo al lugar donde quedaría la inserción escafoidea de la porción dorsal del ligamento escafosemilunar nativo, donde se inserta mediante un anclaje a tensión. Una vez anclado al escafoides, el injerto se conduce hacia el dorso del semilunar próximo a la articulación escafosemilunar y en el punto donde quedaría la inserción de la porción dorsal del ligamento nativo en el semilunar, y allí nuevamente se ancla con el mismo dispositivo de fijación a tensión. Con este gesto se reconstruye la porción volar del ligamento escafosemilunar.

Tras los respectivos anclajes en el escafoides y semilunar, el injerto de tendón se lleva hasta la inserción piramidal del ligamento radiocarpiano dorsal para rodearlo y reflejarse en él, y a continuación se lleva hasta el polo distal del escafoides deslizándolo sobre el dorso del hueso grande y de la articulación mediocarpiana, y allí se sutura al ligamento dorsal intercarpiano.

Los resultados clínicos de esta técnica según los autores son:

- Reducción significativa del dolor
- Mejora en la fuerza de agarre con un rango de movimiento en relación con el lado contralateral del 91 % en extensión y del 70 % en flexión.
- Radiológicamente los resultados no son tan buenos: No consigue mantener el gap ni el ángulo escafosemilunar a los 6 meses. Esto sugiere que este tipo de tenodesis proporciona una buena estabilidad inicial, pero cuando la muñeca se somete a sobrecargas cíclicas fracasa.

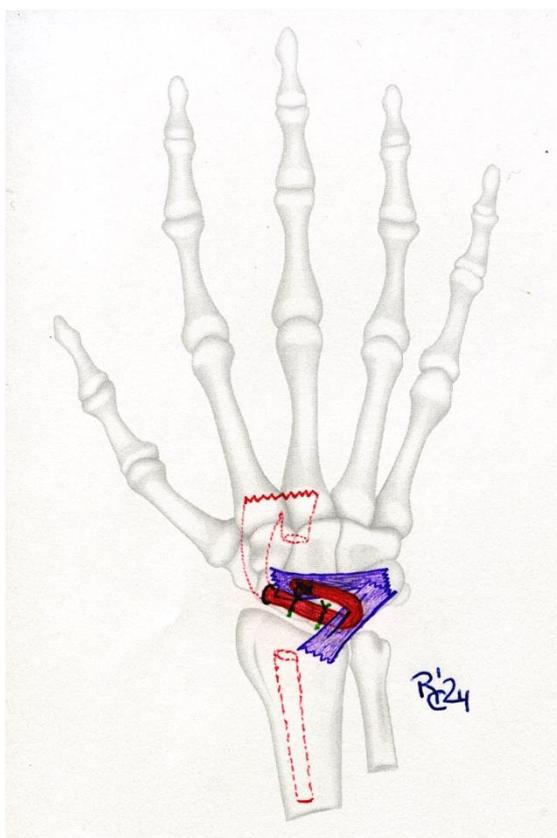


Fig. 71: Tenodesis cuádruple de Bain. **Rojo:** Tendón FCR. **Morado:** LRCD. **Verde:** sistemas de fijación de la plastia al dorso del escafoides y del semilunar y sutura del extremo recurrente al LDIC.

vii. Tenodesis de tres ligamentos de García-Elías (García-Elías y cols, 2006)

García-Elías desarrolló una técnica de tenodesis usando como injerto FCR partiendo de la técnica de Brunelli modificada a la que incorporó innovaciones:

- El túnel del escafoides se hace más oblicuo y termina en la porción anterior de la inserción dorsal del ligamento escafosemilunar.
- Cuando el injerto atraviesa el escafoides y se conduce hacia el aspecto dorsal del semilunar, se fija en éste mediante un anclaje de sutura para reconstruir la porción dorsal del ligamento escafosemilunar.

El resto de la técnica no difiere con respecto a la técnica de Brunelli modificada: el remanente tendinoso una vez fijado al semilunar se pasa a través del ligamento

radiocarpiano dorsal y se refleja sobre él, para posteriormente realizar la sutura del remanente tendinoso a sí mismo.

Los resultados reportados por los autores son los siguientes:

- Ausencia de dolor ó presencia de dolor leve ocasional en el 95 %
- Movilidad con respecto a la muñeca contralateral: 74 % de flexión, 77 % de extensión, 78 % de desviación radial y 92 % de desviación cubital.
- Ausencia de casos de necrosis del escafoides.
- Radiológicamente informan de probable desarrollo de osteoartritis radioescafoidea en el 25% de los casos y evolución a muñeca SLAC en el 8%. Reducción del gap escafosemilunar de 1 mm en promedio y reducción del ángulo escafosemilunar de 77° a 68° en promedio (De Smet y cols, 2013). Los buenos resultados de la técnica han provocado que haya sido objeto de comparación con otras técnicas tomándola como referencia de los parámetros obtenidos (Pauchard y cols, 2013; Athlani y cols, 2019; Burnier y cols, 2021).

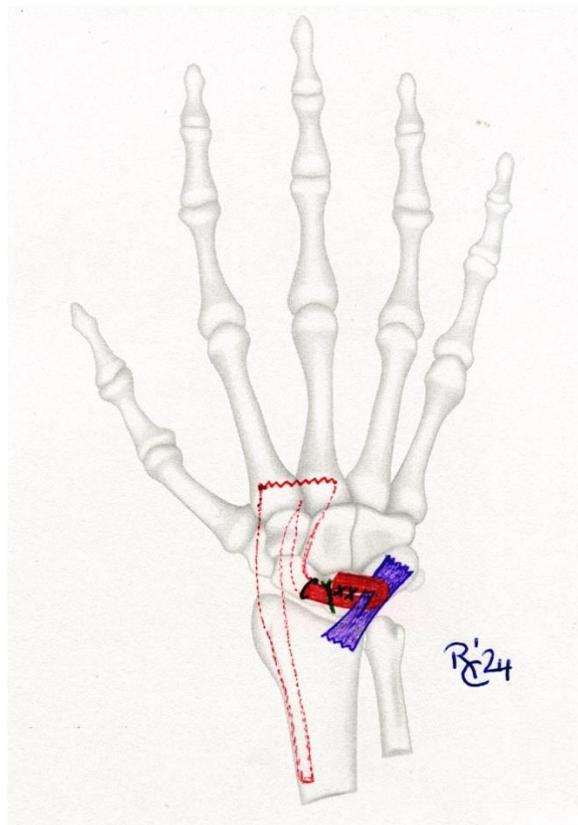


Fig. 72: Tenodesis de 3 ligamentos de García-Elías. Rojo: Tendón FCR. Morado: LRC. Verde: sistemas de fijación de la plastia al dorso del semilunar y sutura del extremo recurrente a sí misma.

4) *Tenodesis usando el tendón palmaris longus*

i. Técnica de Elsaftawy (Elsaftawy y cols, 2014)

Reconstruye la porción dorsal y volar del ligamento escafosemilunar. Para ello se realizan dos túneles transóseos en dirección anteroposterior y perpendicular en el polo proximal del escafoides y en el semilunar. Posteriormente se reduce la inestabilidad escafosemilunar, se obtiene un injerto libre de *palmaris longus* y se pasa a través de los túneles:

- En primer lugar, por el túnel escafoiden en sentido dorsal hacia palmar.
- A continuación se recupera desde palmar hacia dorsal a través del túnel semilunar.
- En tercer lugar, se tensa, se entrelaza y finalmente se sutura a sí mismo en el dorso. - Por último, el remanente libre se une con un anclaje al aspecto dorsal del polo distal del escafoides para reforzar la restricción a la subluxación.

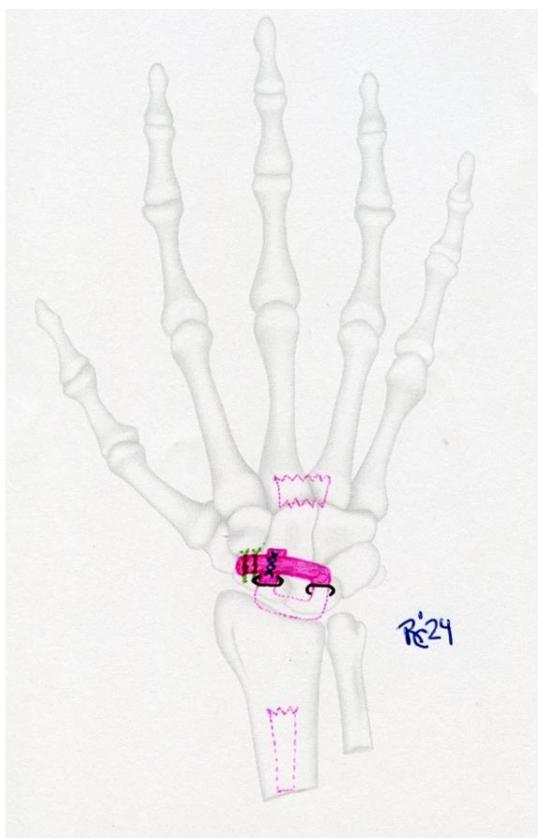


Fig. 73: Tenodesis de Elsaftawy. Rosa: Tendón PL. Verde: sistema de fijación de la plastia al dorso del escafoides y sutura del extremo a sí misma.

ii. Técnica de Pauchard y Dautel (Athlani y cols, 2018)

Incorpora como novedad del reconocimiento de la importancia biomecánica del ligamento dorsal intercarpio con su reconstrucción y del FCR, que lo preserva. En esta técnica la plastia tiene dos porciones:

- Una en sentido polo proximal del escafoides-semilunar-piramidal: corrige la diástasis escafosemilunar.
- Una piramidal-semilunar-polo distal del escafoides: corrige la inestabilidad DISI.

Una vez extraída la plastia, se realiza un abordaje dorsal del carpo para evitar dañar la articulación escafo-trapecio-trapezoide. Se realizan túneles ciegos en el aspecto dorsal de los polo proximal y distal escafoides y en el piramidal para alojar el injerto que se fija con un tornillo interferencial en cada túnel. A su paso por el semilunar, las dos ramas del injerto se suturan entre sí. El injerto, no tiene remanente libre, pues queda integrado en hueso por sus dos extremos, por lo que en esta técnica no interviene la cápsula como anclaje final del tendón.



Fig. 74: Tenodesis de Pauchar y Dautel. **Rosa:** Tendón PL. **Verde:** sistema de fijación de la plastia al dorso del escafoides, dorso del semilunar, dorso del piramidal y sutura a sí misma.

i) Reducción y fijación de la articulación escafosemilunar

Es un procedimiento de reconstrucción escafosemilunar conocido como RASL (reducción y asociación escafosemilunar) consiste en la reducción directa de la articulación escafosemilunar en fase subaguda y la fijación de la misma por vía artroscópica utilizando un tornillo de Herbert con la intención de formar un puente fibroso entre los dos huesos para que mantengan cierto grado de movimiento, y no de conseguir la fusión articular estable y absoluta, por lo que no es un procedimiento de artrodesis.

Tiene como inconveniente fundamental la rotura o molestias relacionadas con el movimiento del tornillo y la pérdida de movilidad al modificar la biomecánica de la muñeca en los movimientos de flexo-extensión, rotaciones y desviaciones cubital y radial (Rosenwasser y cols, 1997).

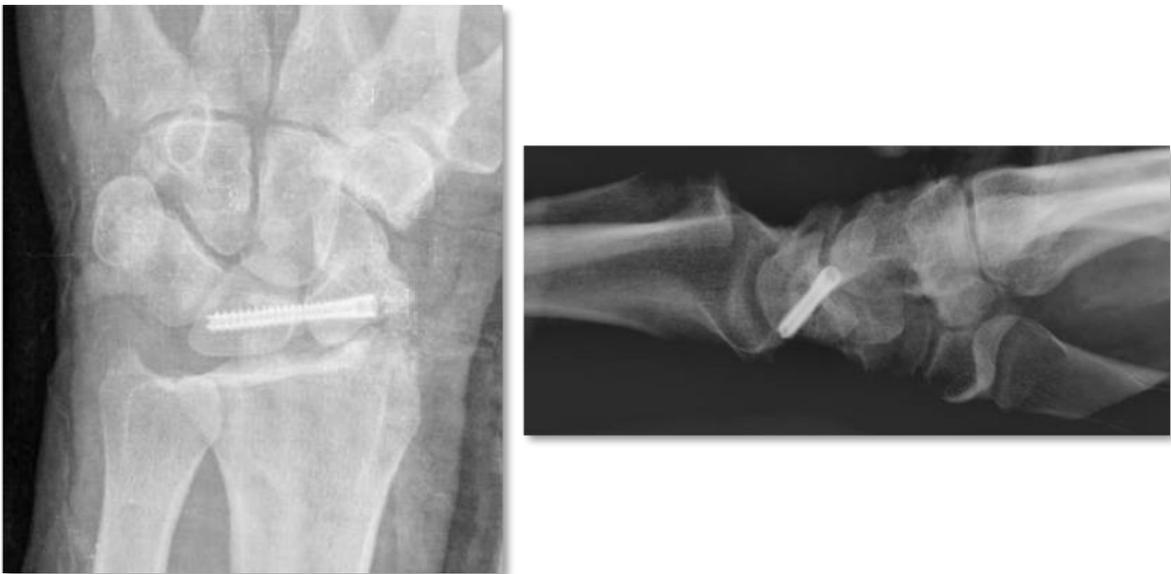


Fig. 75: Procedimiento RASL. Rx anteroposterior y lateral.

E) Estadio 5: Lesión completa del ligamento escafosemilunar con desalineación irreducible y cartílago normal

En fases evolucionadas, la disociación suele quedar establecida y su reducción se hace imposible por la aparición de fibrosis en las partes blandas periarticulares y entre los huesos desalineados. Por este motivo, las técnicas preservadoras de la articulación y reparadoras del ligamento tienen una alta probabilidad de fracaso, siendo preciso recurrir a cirugías de fusión articular para conseguir el mantenimiento de la corrección, la estabilidad y minimizar la pérdida de función (Athlani y cols. 2018).

Artrodesis parciales del carpo

El objetivo de una artrodesis parcial es proporcionar estabilidad a la muñeca, eliminando el dolor y preservando el máximo movimiento posible para que la función de la mano se altere lo menos posible (Green, 1990).

Los principios de la artrodesis parcial fueron descritos por Green:

- La artrodesis debe ser circunscrita a las articulaciones enfermas y no debe alterar a las articulaciones contiguas.
- Se debe aplicar injerto para aumentar la probabilidad de éxito y mantener las dimensiones del carpo
- Se debe emplear un método de osteosíntesis para conseguir estabilización y fijación adicional hasta que se produzca la consolidación (Green, 1990).

Para algunos autores como Taleisnik, la primera técnica de artrodesis intercarpiana fue descrita por Thornton en 1924 (Thornton, 1952). Para otros autores el pionero fue Suto en 1946 con la descripción de la artrodesis STT (Fortin y Louis, 1993). En 1967, Peterson y

Lipscomb hicieron un compendio de varias técnicas de artrodesis parciales. Las más aceptadas actualmente son: (Peterson y Lopscomb, 1967)

- Fusión de escafo-semilunar
- Fusión radio-escafo-semilunar
- Fusión escafo-trapecio-trapezoidea (STT)
- Fusión de escafoides-hueso grande
- Fusión de escafoides-semilunar-hueso grande.

El pleno desarrollo de la técnica de artrodesis parcial lo llevó a cabo Watson en la década de los 80 (Watson y cols, 1986).

i. Artrodesis escafo-semilunar

Consiste en la reducción escafosemilunar directa y la fijación con un tornillo para conseguir la fusión articular. Esta técnica puede conseguir la fusión ósea o la generación de un tejido fibroso entre ambos huesos que aporte suficiente estabilidad como para reducir el dolor y reducir la pérdida de funcionalidad de la muñeca. La artrodesis escafosemilunar tiene altas tasas de fracaso por ausencia de consolidación debidas a la pequeña extensión de la superficie articular artrodesada y a la falta de resistencia de la articulación artrodesada a la presión ejercida por el hueso grande en los movimientos del carpo, por lo que es una técnica poco fiable y poco predecible. Hom y colaboradores describieron los resultados de este procedimiento al aplicarlo en siete pacientes con inestabilidad escafosemilunar crónica e irreductible sin cambios degenerativos en el carpo. Tan sólo en un caso evidenciaron signos radiográficos de fusión. La inclusión del radio distal en la artrodesis aumenta la estabilidad de la artrodesis y la probabilidad de fusión (Hom y Ruby, 1991).



Fig. 76: Arthrodesis radio-escafo-semilunar

ii. Arthrodesis escafo-trapecio-trapezoidea (STT)

Descrita por Watson en la década de los 80 como artrodesis triscafoidea (Watson y cols, 1986), consiste en la corrección de la desalineación del escafoides mediante la reducción del polo proximal a la fosa escafoidea del radio para posteriormente estabilizarlo mediante la fijación del polo distal con el trapecio y el trapezoide. Esta artrodesis tiene las siguientes particularidades:

- Es una artrodesis que implica a las dos hileras del carpo en su vertiente radial, por lo que la transmisión de cargas en la muñeca se realiza exclusivamente a través del eje radio-escafoideo.

- No se corrige la deformidad en extensión del semilunar.

Debido a que el escafoides se encuentra artrodesado por su polo distal, a medida que la muñeca realiza el movimiento de desviación radial el polo proximal no puede flexionarse, por lo que la presión que ejerce sobre la fosa escafoidea del radio progresivamente con el movimiento. Por este motivo a largo plazo pueden aparecer cambios degenerativos en esta articulación. Para prevenirlos, esta técnica puede asociarse a estiloidectomía radial. Se ha documentado un rango no unión del 2-14% y una pérdida de movimiento postoperatorio de entre un 20 % y un 30 % (Watson y cols, 1991).



Fig. 77: Artrodesis triescafoidea

lii. Artrodesis escafo-hueso grande

Es una técnica análoga a la artrodesis STT en la que una vez conseguida la alineación del escafoides se realiza la fusión del polo distal con el hueso grande, por lo que el efecto conseguido y el comportamiento cinemático del carpo son similares. Presenta igualmente los inconvenientes de la artrodesis STT:

- Transmisión de la carga a través de la fosa escafoidea sin corrección del semilunar.
- Aumento de presión en la fosa escafoidea en los movimientos de desviación radial del carpo.
- Cambios degenerativos secundarios en la articulación radioescafoidea a medio-largo plazo.
- Pérdida del movimiento en rango similar a la artrodesis STT (Douglas y cols, 1987).

iv. Artrodesis escafo-semiluno-hueso grande

Es una técnica que fusiona la hilera proximal del carpo con la hilera distal en el pivote central de la muñeca al realizar la artrodesis del escafoides con el semilunar y con el hueso grande. Su fundamento biomecánico radica en que la transmisión de cargas se realizaría de forma más fisiológica repartiéndose tanto a través de la columna central (eje radioescafoideo) como de la columna central (eje semilunar-hueso grande). A diferencia de la artrodesis STT y semiluno-hueso grande, en esta técnica se corrige la posición del semilunar, pero fusiona la base del cóndilo carpiano, lo que supone un aumento en la pérdida de movimiento que se estima en aproximadamente el 50% respecto a la muñeca contralateral sana (Viegas y cols, 1990).

F) Estadio 6: Lesión completa del ligamento escafosemilunar con desalineación irreductible y degeneración del cartílago

El estadio final de la lesión SLIL o muñeca SLAC comienza cuando aparecen cambios degenerativos en el carpo. La lesión de las estructuras ligamentosas y articulares es tan avanzada y tan severa que la restauración de la congruencia articular es imposible, por lo que se requieren actos quirúrgicos más agresivos para conseguir el control de la sintomatología y reducir la pérdida de función.

i. Artrodesis de cuatro esquinas

Consiste en la fusión del semilunar, piramidal, hueso grande y ganchoso. El “procedimiento SLAC” fue desarrollado por Watson y Ballet y consiste en la artrodesis de cuatro esquinas junto con la extirpación del escafoides (Watson y Ballet, 1984). Tras la escisión se realiza una decorticación de las articulaciones semilunar-hueso grande, hueso grande-ganchoso, piramidal-ganchoso y semilunar-piramidal y se aporta un injerto óseo (autoinjerto esponjoso del radio distal o de cresta ilíaca, aloinjerto, materiales sintéticos o combinaciones de los mismos) y se realiza la fijación. Tiene como particularidades:

- Se realiza la desarticulación radioescafoidea.
- Preserva la articulación radiolunar, por lo que la transmisión de cargas de la muñeca se realiza exclusivamente a través de ella. Si los cambios degenerativos afectan a esta articulación, el procedimiento estaría contraindicado.
- Corrige la deformidad del semilunar consiguiendo ángulos radiolunar y capitulunar neutros.
- Las articulaciones de los huesos fijados son pequeñas, pero al realizar la artrodesis de los cuatro a la vez aumenta la masa ósea fusionada, aumentando también la tasa de consolidación (Krakauer y cols, 1994).

En esta técnica es importante preservar los ligamentos radiocarpianos volares para evitar la translación cubital postoperatoria. En casos de deformidad severa del radio distal se puede asociar una resección del margen dorsal y una estiloidectomía.

Se han observado las siguientes complicaciones:

- Síndrome de impactación radiocarpiana dorsal por reducción inadecuada de la articulación semilunar-hueso grande.
- Síndrome de impactación cubital del carpo.
- No unión de la fusión (Trail y cols, 2015).

Los métodos de fijación tradicional de la artrodesis incluyen agujas de Kirschner, tornillos de compresión sin cabeza o grapas convencionales. Estos métodos dan como resultado bajas tasas de no unión (3-18%). Recientemente se han desarrollado grapas de memoria de nitinol y placas dorsales (Kendall y cols, 2005). Aunque las tasas de consolidación son controvertidas, eliminan los inconvenientes de los implantes tradicionales: (Kraisarin y cols, 2011)

- Segundo tiempo quirúrgico para la extracción de las agujas 8-10 semanas después del procedimiento.
- Infección en el trayecto de la aguja.
- Migración del implante.
- Lesiones tendinosas yatrogénicas.
- Lesiones de cartílago por penetración intraarticular de los implantes.



Fig. 78: Artrodesis de 4 esquinas con placa circular dorsal

ii. Carpectomía de hilera proximal

Es una técnica quirúrgica consistente en la extirpación del escafoides, el semilunar y el piramidal, articulando directamente el hueso grande con el radio a través de la fosa semilunar. Para su indicación es imprescindible que el cartílago proximal del hueso grande se mantenga indemne y que en la resección se conserve el ligamento REHG. Puede asociarse una estiloidectomía radial para evitar la impactación del carpo en los movimientos de desviación radial (Wall y Stern, 2013).

Numerosos estudios comparan los resultados de la artrodesis de 4 esquinas con la carpectomía proximal. Cohen y Kozin publicaron un estudio con los siguientes resultados: (Cohen y Kozin, 2001)

- Arco de movimiento de aproximadamente 80° en promedio en ambos grupos.
- Alivio del dolor: similar en ambos grupos.

- Desviación radial y cubital: Mayor en los pacientes sometidos a artrodesis de cuatro esquinas en comparación con los sometidos a carpectomía.
- Fuerza de agarre del 71 % en el grupo sometido a carpectomía y del 79 % en el grupo sometido a fusión de cuatro esquinas.



Fig. 79: Imagen preoperatoria de paciente con muñeca SLAC sometido a carpectomía de la hilera proximal



Fig. 80: Imagen preoperatoria de paciente con muñeca SLAC sometido a carpectomía de la hilera proximal

iii. Artrodesis total de muñeca (Martini, 1999)

Es un procedimiento radical indicado cuando el daño articular es muy severo y la clínica es muy invalidante y no sea posible otro tipo de reparación más que la fusión articular total de la muñeca. La técnica quirúrgica consiste en la decorticación de las superficies y la fijación del tercer metacarpiano con el radio distal por vía dorsal, usualmente con placas anatómicas de bajo perfil, a compresión y bloqueadas, con 2-4 tornillos en el tercer metacarpiano, 3-4 en el radio y uno en el hueso grande, realizándose la fijación con la muñeca a 10º de extensión y con aporte de injerto procedente de la cresta iliaca, radio distal, heterólogo o sustitutos óseos. Recientemente se han desarrollado sistemas de artrodesis con clavos intramedulares. Se puede realizar de forma aislada ó en combinación con la carppectomía proximal. Sus requerimientos fundamentales son: (Campbell y Keokarn, 1964)

- Enfermedad degenerativa en estadio final.
- Pacientes de alta demanda funcional.
- Existencia de stock óseo suficiente y tejidos blandos adyacentes sanos.
- Tratamiento de rescate de artrodesis parciales o de artroplastias parciales o totales fallidas.

Las tasas de unión son altas (96-100%) y la fusión se completa aproximadamente en 6 meses.

Presenta las siguientes complicaciones: (Berling y cols, 2015)

- No unión de la artrodesis.
- Lesiones de tejidos blandos: hematoma, dehiscencia cutánea menor (20-30%).
Adherencias del tendón extensor.
- Lesión neurovascular: síndrome del túnel carpiano (hasta el 10 % de los pacientes; la mitad de los cuales requieren liberación del túnel carpiano)
- Infección: superficial (aproximadamente 3 % de los pacientes).

- Complicaciones relacionadas con el implante (30-60% de los pacientes): molestias locales: prominencia dolorosa, bursitis o tenosinovitis extensora. Con frecuencia requieren la extracción de hardware).
- Fractura periimplante.
- Síndrome de impactación cubital: Se produce más comúnmente cuando la fusión se realiza con una desviación cubital excesiva y puede tratarse con osteotomía de acortamiento cubital o escisión cubital distal (procedimiento de Darrach)

La tasa de satisfacción de los pacientes es elevada (80-100%), pues consigue la desaparición o alivio muy importante del dolor y mejoría considerable la fuerza de agarre. La muñeca pierde toda su movilidad, pero en comparación con la artrodesis de otras articulaciones, la pérdida de función es menos acusada debido a los movimientos compensatorios del antebrazo, el codo y el hombro (Fuchs y Achinger, 1995).



Fig. 81: Rx AP de muñeca con artrodesis total fijada con placa dorsal



Fig. 82: Rx lateral de muñeca con artrodesis total fijada con placa dorsal

iv. Artroplastia total de muñeca

Consiste en la sustitución protésica de la articulación de la muñeca: (Eaton y cols, 1992)

- Artroplastia total: está reservada para pacientes mayores, con menos requerimientos funcionales o exigencias físicas y que tengan un stock óseo adecuado.

- Hemiarthroplastia: más reciente y más novedosa, puede ser una opción para los pacientes más jóvenes y más activos.

Aunque no son técnicas de primera elección, constituyen una alternativa en el tratamiento de la muñeca degenerativa en estadios avanzados. El diseño y la tecnología de las prótesis han ido evolucionando a lo largo del tiempo con el reto de satisfacer las altas exigencias biomecánicas y funcionales de la muñeca.

La primera prótesis de muñeca documentada era de marfil y fue implantada por Themistocles Gluck en Berlín en 1890 en una muñeca degenerativa por tuberculosis. (Rehart y cols, 2023). Posteriormente, se han desarrollado implantes que podemos clasificar en cuatro generaciones según el diseño, la evolución y el desarrollo: (Cai y cols, 2018)

- Implantes de primera generación: desarrollados en la década de 1960 por Swanson como un implante interposicional de una sola pieza. Desde entonces, se han introducido varios otros diseños de prótesis de muñeca que paulatinamente se han retirado del mercado debido a las altas tasas de complicaciones. Los dispositivos TWA de nueva generación incluyen un componente proximal, en su mayoría con tallo, fijado al radio distal y un componente distal fijado al carpo y los metacarpianos distales (Swanson, 1973).
- Implantes de segunda generación fueron desarrolladas por Volz y Meuli, tienen un diseño de hemisférico cóncavo-convexo con un componente proximal o glenoideo y un componente distal similar a un cilindro. Se insertan en las cavidades medulares del radio y de los metacarpianos y se fijan mediante pasadores transfixantes intramedulares. Permiten movimientos de flexión, extensión y una ligera desviación

radiocubital. Su área de inserción es pequeña y deficiente por lo que presentan problemas de aflojamiento y hundimiento (Kennedy y Huang, 2015).

- Implantes de tercera generación: La tercera generación de prótesis incluye principalmente prótesis triesféricas, prótesis biaxiales y prótesis MWP tipo III. Son prótesis mucho más evolucionadas desde el punto de vista biomecánico y permiten movimientos en todas las direcciones, de forma similar a una muñeca sana. El método de fijación de la prótesis al hueso no difiere significativamente de las prótesis de segunda generación, por lo que mantiene problemas de aflojamiento y hundimiento a largo plazo (Kraay y Figgie, 1995).
- Implantes de cuarta generación: incluye principalmente las prótesis de la serie Universal (tipos I y II), las prótesis Re-motion y las prótesis Maestro. Tienen diferentes diseños, principios de fijación y mecánica articular. Para disminuir las complicaciones, estos implantes tienen las siguientes mejoras:
 - Preservan de la articulación radiocubital distal.
 - Mejoran el stock óseo remanente al ser más conservadoras con la cantidad de hueso que se pierde.
 - Vástagos del radio pressfit.
 - Superficies de deslizamiento de polietileno de peso molecular ultra alto para mejorar la resistencia al desgaste por fricción.
 - Promueven la osteointegración y evitan el cemento con varios biomateriales:
 - Superficies porosas de titanio o cobalto-cromo-molibdeno (Co-Cr-Mo) con capas de titanio.
 - Hidroxiapatita o fosfato cálcico reabsorbible en áreas de crecimiento óseo (Chakrabarti 2009; Bidwai y cols 2013).

Las prótesis de cuarta generación actuales muestran una supervivencia del 90-100% a los 5 años y resultados clínicos de buenos a excelentes con respecto al movimiento funcional y el alivio del dolor. Sin embargo, la supervivencia de los implantes disminuye entre 5 y 8 años y presentan una tasa de complicaciones del 6 % al 47 %. Las

complicaciones en el postoperatorio pueden ocurrir de forma precoz o tardía, siendo las más frecuentes:

- El aflojamiento y la inestabilidad: son las complicaciones más frecuentes, fundamentalmente del componente distal.
- Lesiones en los tejidos blandos circundantes
- Degeneración de la articulación radiocubital distal (Schmidt, 2015).

v. Otros procedimientos

Se han descrito otros procedimientos de salvamento menos extendidos. Las alternativas a los procedimientos estándar y sus modificaciones incluyen:

- Estiloidectomía radial con o sin fusión parcial de la muñeca.
- Artroplastia de escisión del escafoides proximal solo o en combinación con la cabeza del semilunar y del hueso grande combinada con la interposición de un autoinjerto osteocondral o un implante de interposición de pirocarbono (Bellemère y cols, 2012).
- Denervación de la muñeca de forma aislada o combinada con otros procedimientos de salvamento (Wilhelm, 1967).

3. HIPÓTESIS

3. HIPÓTESIS

En todas las técnicas quirúrgicas descritas para el tratamiento de la inestabilidad escafosemilunar en estadio III-IV los resultados han sido muy controvertidos. Hasta el momento actual ninguna de ellas ha resultado ser claramente definitiva para la reconstrucción de la lesión, lo que evidencia la necesidad de buscar nuevas opciones terapéuticas como tratamiento alternativo a las ligamentoplastias.

En el 2013, Omori y cols. publicaron un estudio en el que observaron cómo la coexistencia de una fractura de radio distal en consolidación viciosa en extensión junto con inestabilidad escafosemilunar conduce al agravamiento de ésta, provocando mayor desplazamiento del segmento intercalado a dorsal, mayor subluxación dorsorradial del escafoides, mayor incongruencia radioescafoidea y mayor aumento de las presiones intraarticulares (Omori y cols. 2013).

Planteamos la posibilidad de que la situación contraria, es decir, el aumento en la flexión del radio distal, podría contribuir a la mejoría de la inestabilidad escafosemilunar al actuar como factor restrictor o de contención en la subluxación dorsorradial del escafoides.

Establecimos un simil del escafoides con un "skater". Desligado del semilunar en la inestabilidad escafo-lunar, el escafoides se desliza por la rampa del radio para subirse (subluxarse) al labio dorsal (Imagen X). Aumentando la inclinación de la rampa (orientando la carilla articular más en flexión) podríamos frenar el deslizamiento del escafoides.



Fig. 83: Simil del "Skater"

Por otra parte, hay antecedentes del tratamiento de la inestabilidad en otras articulaciones, como el hombro, mediante procedimientos quirúrgicos realizados sobre el hueso para mejorar la congruencia sin actuar directamente sobre las partes blandas de la articulación, sino mediante la aplicación de un tope articular (Latarjet, 1954).

Bajo estas premisas, nos planteamos si en una muñeca con inestabilidad escafosemilunar con el ligamento irreparable pero cuando aún no existen cambios degenerativos en el carpo (estadios III-IV), cambiando la orientación de la carilla articular del radio distal mediante la realización de una osteotomía suprametafisaria en flexión-adición, podríamos mejorar la biomecánica del carpo evitando la subluxación rotatoria del escafoides y reduciendo la desalineación escafosemilunar.

Para tal fin propusimos un estudio en cadáver en el que reprodujimos la inestabilidad escafosemilunar para ensayar la osteotomía de flexión-adición y evaluamos su comportamiento radiocinemático, estableciendo las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula (H_0): La osteotomía en flexión del radio distal no modifica el comportamiento radiocinemático del carpo en un modelo cadavérico de inestabilidad escafo-lunar.

- Hipótesis alternativa (H_1): la osteotomía en flexión del radio distal mejora la estabilidad radiocinemática del carpo en el modelo cadavérico de inestabilidad escafo-lunar.

4. OBJETIVOS

4. OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio son:

1) **Objetivo principal**

Demostrar que la realización de una osteotomía suprametafisaria del radio distal en flexión-adición mejora los parámetros radiográficos y radiocinemáticos de alineación carpiana en un modelo experimental de inestabilidad escafo-semilunar grado IV en cadáver humano criopreservado.

2) **Objetivos secundarios**

- Recreación de un modelo cadavérico de inestabilidad escafosemilunar de forma análoga al modelo descrito por Pollock y Lee (Pollock y cols, 2010; Lee y cols, 2011).
- Describir el comportamiento radiocinemático en proyección anteroposterior y lateral del carpo con inestabilidad disociativa escafosemilunar experimental en base a los siguientes parámetros: la diástasis escafosemilunar, el signo del anillo, la longitud del escafoides, el ángulo escafosemilunar, ángulo radiolunar y la traslación dorsal del escafoides.
- Comparar los parámetros radiográficos y radiocinemáticos del carpo entre la situación basal y tras la creación del modelo de inestabilidad.
- Comparar los parámetros radiográficos y radiocinemáticos del modelo de inestabilidad con los que se observan tras la intervención experimental (osteotomía de flexión del radio)
- Comparar los valores de los parámetros radiográficos y radiocinemáticos tras la osteotomía con los de la situación basal para valorar en cuánto se acerca la intervención experimental a la supuesta normalidad y estimar la capacidad de corrección de la inestabilidad por la intervención.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5. MATERIAL y MÉTODOS

5.1 Diseño del estudio

Para alcanzar los objetivos planteados, diseñamos un estudio experimental en modelo cadavérico de inestabilidad carpiana dissociativa escafo-semilunar. Evaluamos el efecto de la osteotomía de flexión-adición en el radio distal sobre la alineación de los huesos del carpo en situación estática y dinámica (bajo carga por tracción tendinosa) mediante el análisis radiográfico y radiocinemático que definiremos a continuación, y comparamos los resultados obtenidos tras la toma de radiografías en estado basal, tras la realización del modelo de inestabilidad en cada pieza y tras la realización de la osteotomía en cada modelo.

Se utilizaron 20 especímenes criopreservados de 10 individuos (cinco hombres y cinco mujeres) con edades comprendidas entre 58 y 78 años, que habían donado sus cuerpos a la ciencia, aunque finalmente sólo se incluyeron 15 en el estudio. Las piezas eran extremidades superiores preparadas desde el tercio medio de la diáfisis humeral. Seleccionamos las piezas confirmando que ninguna de ellas presentaba hallazgos de interés en el examen físico, ni evidencia radiográfica de lesión, inestabilidad o cambios degenerativos en la muñeca. La serie incluida finalmente en el estudio definitivo estaba compuesta por ocho muñecas derechas y siete muñecas izquierdas, que fueron diseccionadas y tratadas después de descongelarlas a temperatura ambiente en el Departamento de Anatomía Humana de la Facultad de Medicina de la Universidad de Granada (España) entre octubre y diciembre de 2021. Se confirmó la integridad inicial del ligamento escafosemilunar y la ausencia de lesiones degenerativas o ligamentosas compatibles con inestabilidad carpiana en todas las muñecas durante su disección. Se descartaron 5 especímenes de los 20 seleccionados, como consecuencia de lesiones

degenerativas del ligamento escafosemilunar por depósito de cristales de pirofosfato cálcico (condrocalcinosis) que es relativamente común en pacientes por encima de los 60 años.

5.2 Procedimientos experimentales

5.2.1 *Recreación del modelo de inestabilidad escafosemilunar*

Para la recreación del modelo de inestabilidad escafosemilunar tomamos como punto de partida los trabajos de Pollock y Lee (Pollock y cols. 2010; Lee y cols. (2011)). Reproducimos los modelos cadavéricos de inestabilidad que ellos publicaron pero realizando la disección anatómica mediante abordajes abiertos, sin utilizar técnicas artroscópicas. A diferencia del modelo desarrollado por Pollock, en el nuestro incluimos la sección de los ligamentos escafo-trapecio-trapezoideos (STT) por considerarlos estabilizadores secundarios importantes que limitan la flexión del escafoides.

a) Abordaje dorsal: Mediante una incisión longitudinal dorsal de 12 cm sobre la línea media de la muñeca y el antebrazo se realizó la disección del plano cutáneo y subcutáneo superficial hasta llegar a la fascia antebraquial dorsal y al retináculo extensor.



Fig. 84: Abordaje dorsal. Plano superficial. Exposición del retináculo extensor.

Se abrió al retináculo extensor mediante una incisión longitudinal, y se dividió entre el tercer y cuarto compartimento. Cada colgajo de retináculo se separó en sentido radial y cubital respectivamente, quedando expuestos los tendones del tendón *Extensor Pollicis Longus* (EPL, tercer compartimento) y los tendones del *Extensor Digitorum Communis* (EDC) y del *Extensor indicis proprius* (EIP), (cuarto compartimento).



Fig.85: Abordaje dorsal. Sección del retináculo extensor entre 3º y 4º compartimento

El tendón del EPL se separó en sentido radial junto con el colgajo radial del retináculo extensor, mientras que los tendones del EDC y EIP se separaron en sentido cubital junto con el colgajo cubital del retináculo extensor, quedando expuesta la cápsula articular dorsal de la articulación de la muñeca.



Fig.86: Exposición de la capsula articular dorsal

A continuación, se realizó una capsulotomía dorsal siguiendo la vía de abordaje de Berger y Bishop, sacrificando los ligamentos intercarpiano dorsal y radiocarpiano dorsal (estabilizadores capsuloligamentosos dorsales secundarios), quedando así expuestas las articulaciones radiocarpiana y mediocarpiana (Berger y Bishop, 1997).



Fig. 87: Capsulotomía dorsal. Colgajo de Berger y Bishop. Exposición de las articulaciones radiocarpiana y mediocarpiana.

Para identificar mejor la primera hilera del carpo se colocó la muñeca en ligera flexión, lo que permitió la observación del SLIL, que se examinó y confirmó su integridad y competencia. Después se seccionó con un bisturí del nº 23, en primer lugar, su componente dorsal, a continuación, la porción membranosa y por último la volar.



Fig.88: Sección del ligamento escafosemilunar (SLIL)

En el tercio distal del antebrazo se realizó una disección del plano muscular proximal al retináculo extensor para identificar los tendones del *extensor carpi radialis longus* (ECRL), *extensor carpi radialis brevis* (ECRB) y *extensor carpi ulnaris* (ECU) y se referenciaron con sutura de Vicryl del nº2 (Ethicon Inc), se liberaron de adherencias y se comprobó que bajo tracción, los tendones referenciados conseguían la libre excursión en todo su recorrido y se reproducía la función de cada tendón en la extensión de la muñeca.

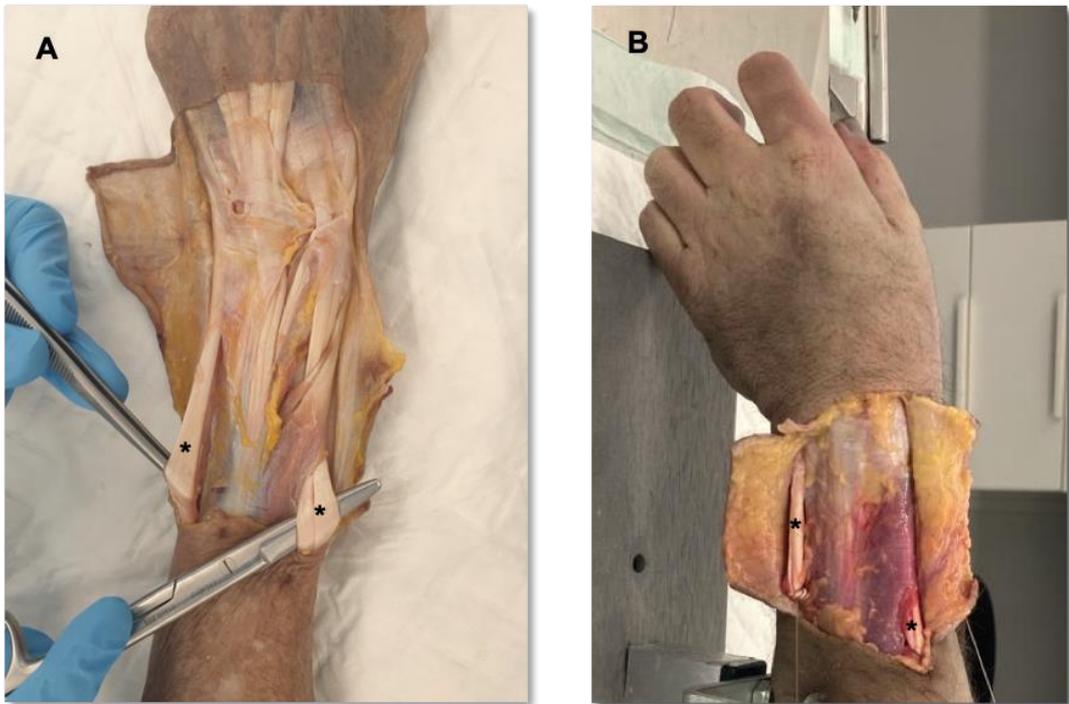


Fig. 89: Identificación (A) y referencia (B) del tendón *extensor carpi ulnaris* (ECU) y de los tendones de *extensor carpi radialis longus y brevis* (ECRL-ECRB), marcados con *

b) Abordaje volar: Mediante un abordaje longitudinal volar de 15 cm aproximadamente sobre la línea media del antebrazo y la muñeca se realizó la disección superficial del plano cutáneo y subcutáneo hasta llegar a la fascia antebraquial.



Fig. 90: Abordaje volar de la muñeca y tercio distal del antebrazo.

Se identificó el tendón *Flexor Carpi Radialis* (FCR) que se separó en sentido radial para exponer el suelo de su vaina, donde se ubica el ligamento Radio-Escafo-Hueso Grande, y el *Flexor Carpi Ulnaris* (FCU)

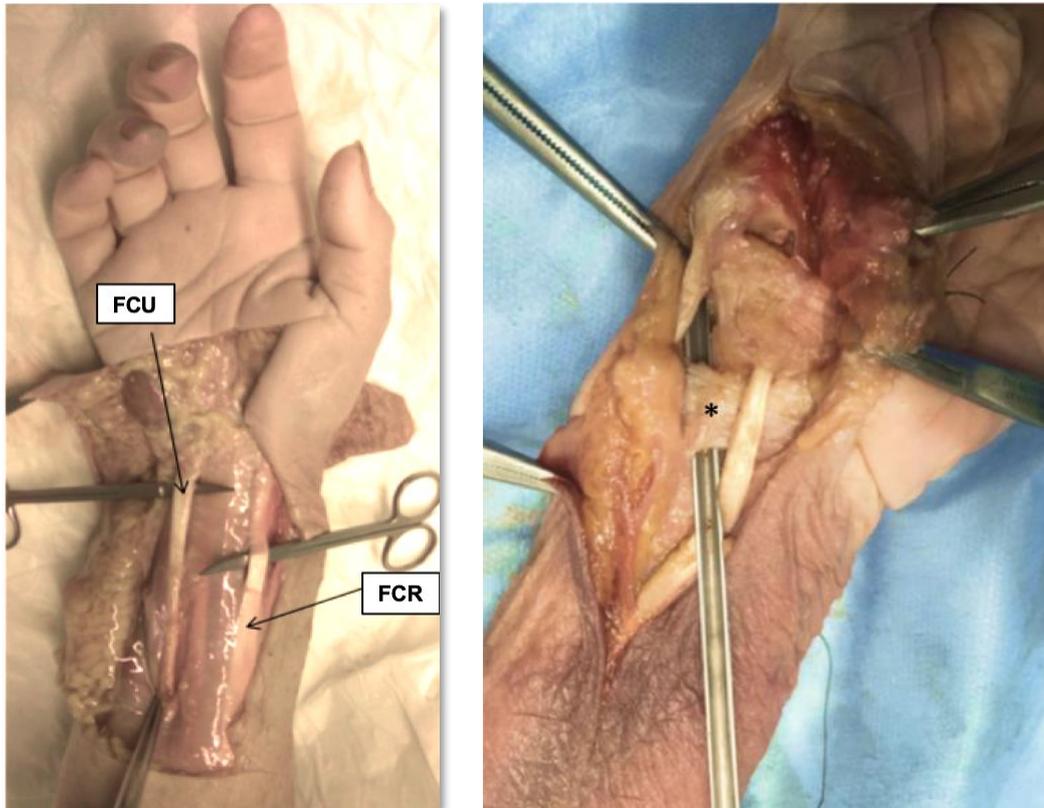


Fig. 91: Identificación del tendón *Flexor Carpi Radialis* (FCR) y *Flexor Carpi Ulnaris* (FCU) (imagen izquierda). **Fig. 92:** Identificación y referencia del ligamento Radio-Escafo-Hueso Grande (*). Guía de la sección con una sonda canalada (imagen derecha)

Se rechazaron los tendones flexores de los dedos y nervio mediano y se elevó la musculatura de la eminencia tenar, haciendo posible el acceso a los ligamentos radio-escafo-hueso grande y el complejo del ligamento escafotrapezotrapezoidal (estabilizadores secundarios volares) que se seccionaron usando un bisturí del nº11.

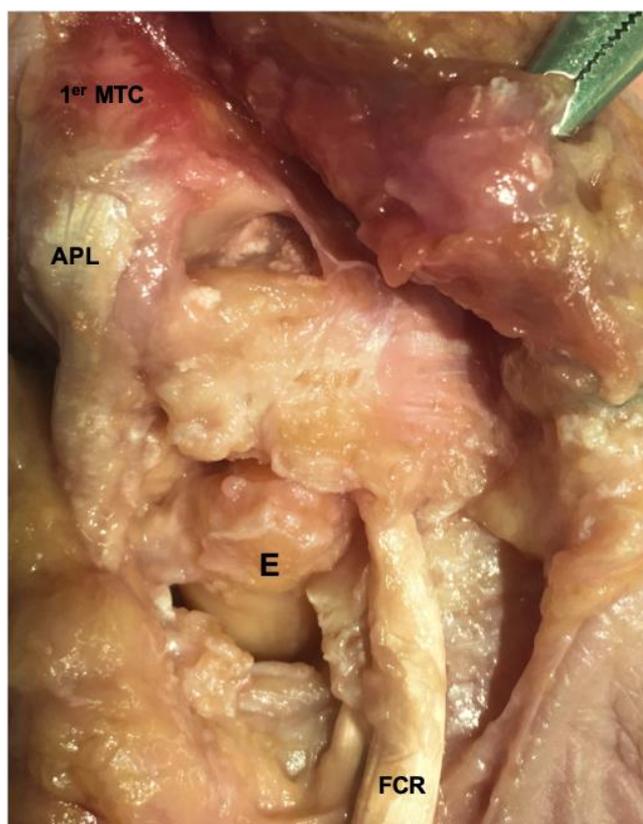
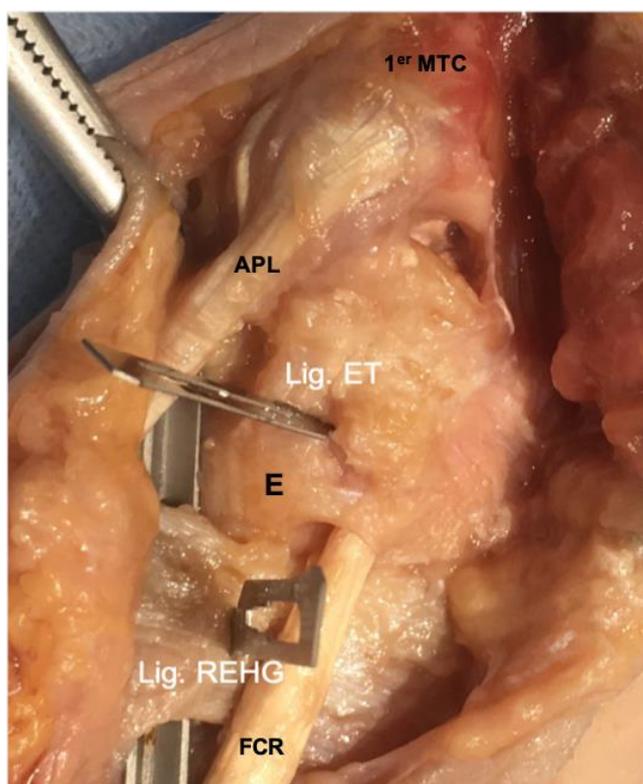


Fig. 93: Sección de los estabilizadores secundarios: ligamentos del área escafo-trapezio-trapezoidal (ET) y Ligamento radio-escafo-huero grande (REHG). E: Escafoides. APL: Abductor pollicis longus. FCR: Flexor carpi radialis. 1er MTC: Primer metacarpiano.

De forma análoga a los tendones extensores en la incisión dorsal, los tendones del FCR y FCU se referenciaron con hilos de Vicryl del nº2 comprobando que su tracción conseguía la libre excursión de cada tendón y reproducía su función en la flexión de la muñeca.

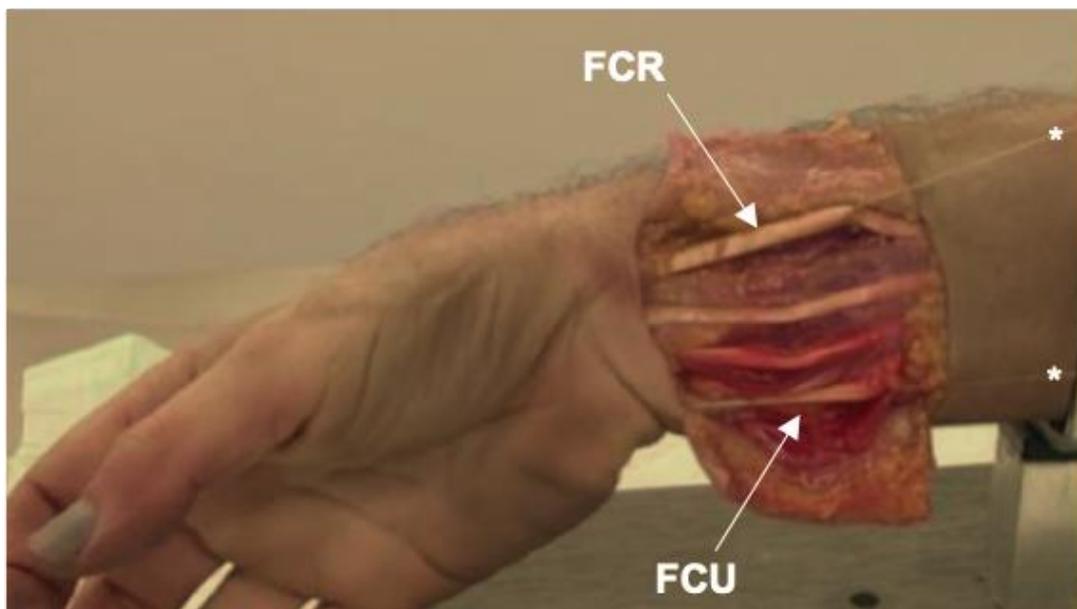


Fig. 94 Referencia (*) del tendón *Flexor Carpi Radialis* (FCR) y *Flexor Carpi Ulnaris* (FCU)

Durante la disección se observó lesión previa en el SLIL en 5 especímenes, que fueron excluidos del estudio.

A continuación, se insertaron tornillos con cabezas de 4 mm de diámetro como marcadores metálicos en el radio y los huesos del carpo para poder escalar las mediciones que se hicieron en las proyecciones radiográficas del estudio radiodinámico.

Una vez preparadas las piezas se estabilizaron sobre una mesa radiotransparente en posición horizontal y cada tendón marcado se sometió secuencialmente a una carga de 5 Lb (22 N) medida con un dinamómetro de tracción digital (AR815 25Kg) para las proyecciones radiográficas dinámicas en tracción que se realizaron. El orden de tracción secuencial de los tendones fue: ECRL y ECRB, ECU, FCU y FCR.

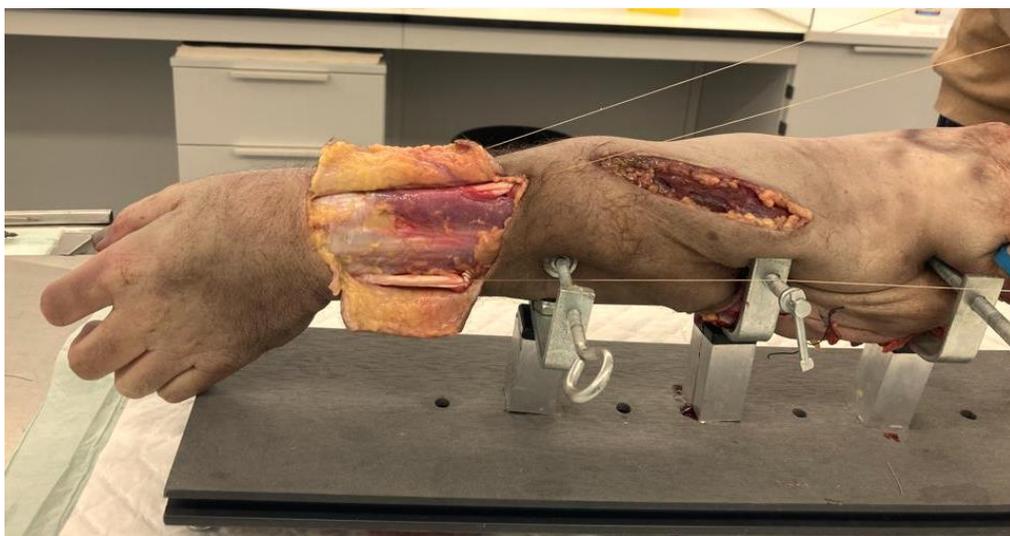


Fig. 95 Dispositivo radiotransparente para la fijación de las muestras con poleas para tracción de los tendones.

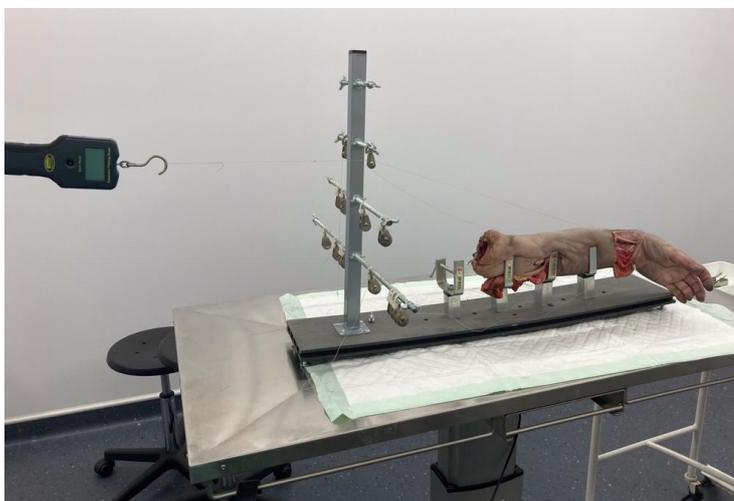


Fig. 96 Fuerza de tracción controlada con dinamómetro digital

5.2.2 Osteotomía en flexión del radio distal

A través del abordaje dorsal se accedió al tercio distal del antebrazo para obtener una visión extraperióstica de la metáfisis distal del radio. Se marcó una línea transversal en la cortical dorsal del radio con rotulador quirúrgico a 10 mm proximal a la articulación radiocubital distal. A continuación, con una sierra oscilante de 10 mm se realizó una osteotomía dorsal de flexión en cuña abierta. La cortical palmar se fracturó por osteoclasia (Fig. 97) El ángulo de flexión fue de 20° desde la posición original de la superficie articular distal del radio. Finalmente se realizó la fijación en la posición obtenida con una placa radial atornillada de 4 orificios (Fig. 98 y 99)

Todos los procedimientos y mediciones se realizaron en el quirófano experimental del Departamento de Cirugía y sus Especialidades de la Facultad de Medicina de la Universidad de Granada en condiciones de bioseguridad.



Fig 97. Osteotomía suprametafisaria en flexión del radio distal en cuña abiert



Fig. 98 y 99: Fijación de la osteotomía a 20° de flexión con placa atornillada

5.3 Evaluación radiográfica

El estudio radiocinemático del carpo se realizó en cada espécimen en tres tiempos: estado basal (muñeca nativa, sin intervención, fase 1), tras la recreación del modelo de inestabilidad (fase 2) y tras la realización de la osteotomía en flexión del radio (fase 3).

Se realizaron las mismas proyecciones y medidas en las tres fases. Para tomar las proyecciones radiológicas exactas cada espécimen fue colocado en un dispositivo de fijación radiotransparente cuyos tornillos atravesaron el cúbito y el radio, evitando variaciones en la posición de la pieza o en la pronosupinación del antebrazo y garantizando así la reproducibilidad de las imágenes obtenidas y de las mediciones que se hicieron en cada una de ellas. Para la toma de imágenes se utilizó radioscopia biplanar con un fluoroscopio de brazo en C (PHILIPS BV25).

Todas las imágenes radiográficas se tomaron en proyección anteroposterior (AP) y lateral (L) a la distancia de 50 cm desde el espécimen al emisor y al receptor del arco en C. Las proyecciones se obtuvieron de acuerdo con la siguiente secuencia: 1. Proyección AP sin tracción del tendón en alineación neutra; 2. Proyección AP en desviación cubital pasiva máxima; 3. Proyección AP en desviación radial pasiva máxima; 4. Proyección AP en tracción de los tendones ECRB y ECRL; 5. Proyección AP en tracción del tendón ECU; 6. Proyección AP en tracción del tendón FCU. 7. Proyección AP en tracción del tendón FCR; 8. Proyección L en posición neutra. 9. Proyección L en extensión pasiva máxima; 10. Proyección L en flexión pasiva máxima; 11. Proyección L en tracción del tendón FCR.

En la tabla 6 se detallan las proyecciones incluidas en el estudio radiológico.

ORDEN	PROYECCIÓN	ESTÁTICA/DINÁMICA	TRACCIÓN/POSICIÓN	REFERENCIA
1	Anteroposterior	Estática	No	APN
2	Anteroposterior	Estática	No. Desviación cubital pasiva	APCP
3	Anteroposterior	Estática	No. Desviación radial pasiva	APRP
4	Anteroposterior	Dinámica	Tracción tendones radiales	APR
5	Anteroposterior	Dinámica	Tracción <i>extensor carpi ulnaris</i>	APECU
6	Anteroposterior	Dinámica	Tracción <i>flexor carpi ulnaris</i>	APFCU
7	Anteroposterior	Dinámica	Tracción <i>flexor carpi radialis</i>	APFCR
8	Lateral	Estática	No	LN
9	Lateral	Estática	Extensión máxima	LE
10	Lateral	Estática	Flexión máxima	LF
11	Lateral	Dinámica	Flexión + tracción <i>flexor carpi radialis</i>	LFRCR

Tabla 6: Proyecciones incluidas en el estudio radiológico

5.4 Medidas y variables

Se obtuvieron imágenes en proyección AP para determinar los siguientes parámetros (Fig. 100):

- Longitud aparente del escafoides carpiano en milímetros como indicador de la flexión del escafoides, tomando la máxima medida longitudinal observada en su eje mayor desde el polo proximal al polo distal.
- Intervalo o gap escafosemilunar, para lo cual se trazó una línea perpendicular a la articulación escafosemilunar y tomando como medida la resultante entre el punto medio del aspecto radial del semilunar y el punto medio del aspecto cubital del escafoides.

Todas las mediciones anteroposteriores se normalizaron al escalar los resultados utilizando los marcadores radiográficos metálicos colocados en cada espécimen. Se seleccionaron las radiografías en proyección AP en las que el marcador era perfectamente circular y lineal en proyección lateral.

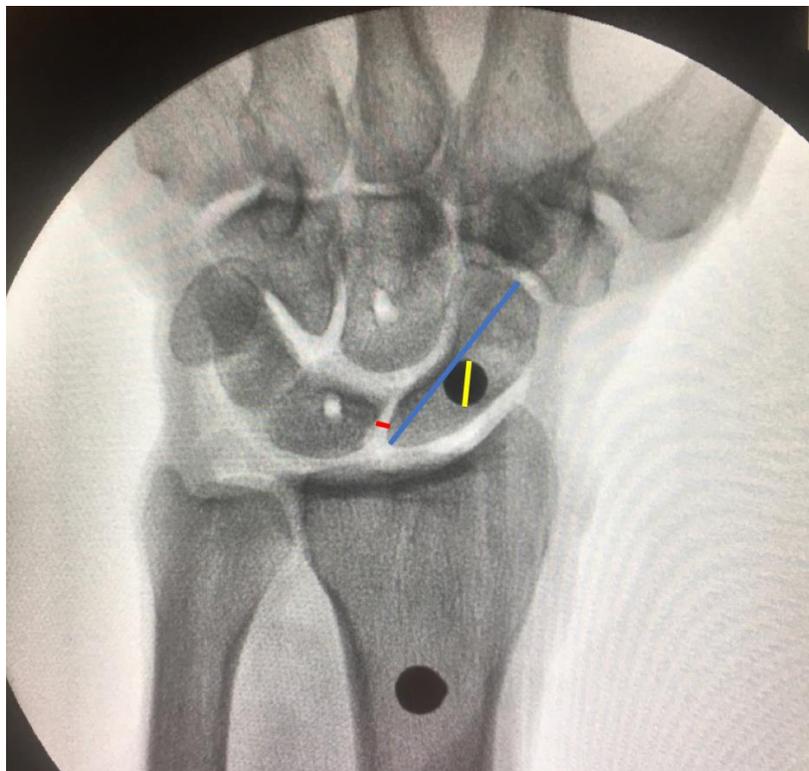


Fig 100. Proyección AP neutra en situación basal. **Azul:** Medición de la longitud del escafoides; **Rojo:** gap escafosemilunar. **Amarillo:** marcador para escalado en escafoides.

Se obtuvieron imágenes en proyección lateral para determinar los siguientes parámetros (Fig. 101):

- Ángulo escafosemilunar, medido como el ángulo formado entre el eje mayor del escafoides y el eje menor del semilunar en grados sexagesimales.
- Ángulo radiolunar, medido como el ángulo formado entre el eje longitudinal del radio y el eje menor del semilunar en grados sexagesimales.
- La inclinación palmar ("tilt") de la superficie articular distal del radio, medida como el ángulo formado entre la línea que forman la perpendicular al eje longitudinal del radio y la línea que une el margen dorsal y volar de la superficie articular del radio, en grados sexagesimales.

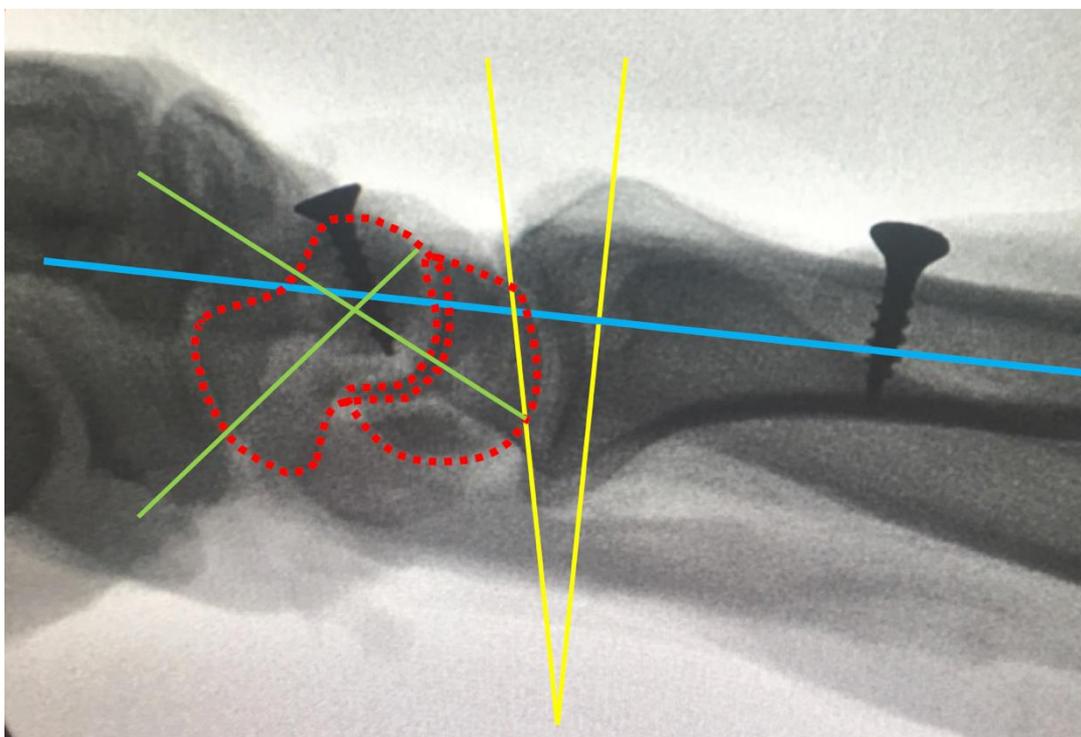


Fig 101: Rojo: Contornos del escafoides y semilunar. Verde: Ángulo escafosemilunar.
Amarillo: ángulo de inclinación palmar. Azul: Eje longitudinal del radio.

- Traslación dorsal del escafoides (DST) mediante el método de círculos concéntricos descrito por Chan y cols (Chan y cols, 2019). Este método consiste en la delineación de los contornos del polo proximal del escafoides y de la faceta escafoidea del radio distal utilizando una plantilla circular electrónica en la imagen radiográfica. El DST se determinó como la distancia en milímetros entre los centros de estos círculos en una línea paralela al eje mayor del radio.
- Longitud del escafoides: Longitud aparente del escafoides carpiano en milímetros, tomando la máxima medida longitudinal observada en su eje mayor desde el polo proximal al polo distal.

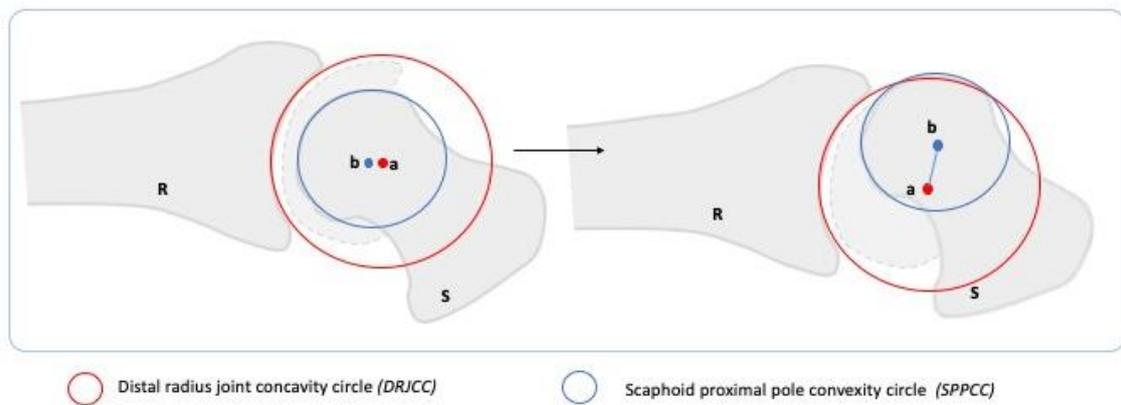


Fig. 102: Medición de la traslación dorsal del escafoides (DST) descrita por Chan (2019); a: centro del DRJCC; b: centro del SPPCC; distancia ab: DST; R: Radio; S: escafoides

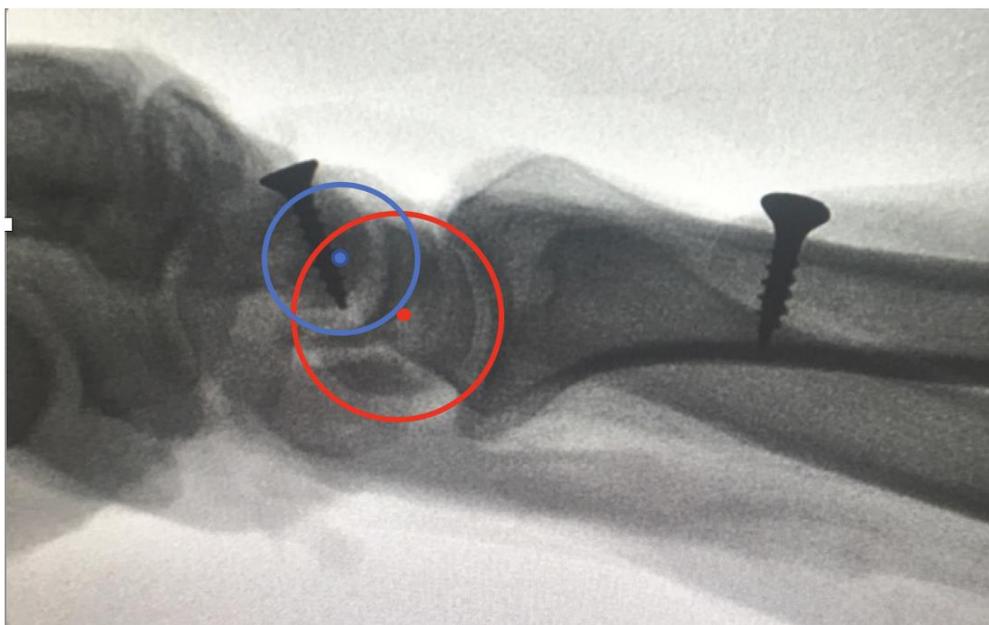


Fig. 103: Medición de la traslación dorsal del escafoides (DST) descrita por Chan (2019); **Rojo:** Faceta escafoidea del radio. **Azul:** Polo proximal del escafoides.

Las mediciones radiográficas fueron realizadas por dos observadores independientes utilizando el software Angle Meter 360 (desarrollado por Alexey Kozlov, versión 19), considerando los resultados medios en los análisis.

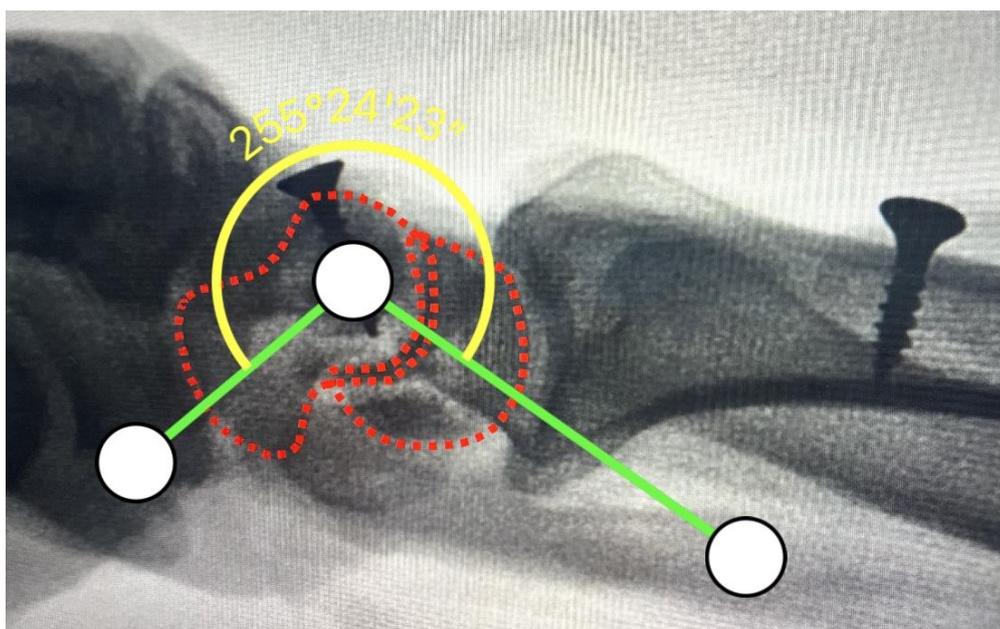


Fig 104. Medición del ángulo escafosemilunar con Ángle Meter 360

Todas las variables se midieron en todos los especímenes siguiendo la misma secuencia de proyecciones radiográficas, y los datos que se obtuvieron se tabularon en formato .xls usando el programa Microsoft Excel versión 16.17 para facilitar su traslado posterior al programa SPSS. En la tabla 7 se recogen todas las variables del estudio:

Item	Proyección	Tipo	Medida	Referencia
Longitud del escafoides	Anteroposterior	Cuantitativa	milímetros	Marcador circular de 4 mm
Gap escafosemilunar	Anteroposterior	Cuantitativa	milímetros	Marcador circular de 4 mm
Ángulo escafosemilunar	Lateral	Cuantitativa	Grados sexagesimales	Ejes laterales del escafoides y semilunar
Ángulo radiolunar	Lateral	Cuantitativa	Grados sexagesimales	Eje longitudinal del radio
Tilt radial	Lateral	Cuantitativa	Grados sexagesimales	Eje longitudinal del radio
Traslación dorsal del escafoides	Lateral	Cuantitativa	milímetros	Centro geométrico del polo proximal del escafoides y centro geométrico de la fosa sigmoidea del radio
Longitud del escafoides	Lateral	Cuantitativa	Milímetros	Marcador circular de 4 mm

Tabla 7: Variables del estudio

Los detalles y especificaciones de las proyecciones radiográficas del estudio radiocinemático se recogen en la tabla 8.

	VARIABLES	PROYECCIÓN	POSICIÓN	TRACCIÓN
1	LEAPN	Anteroposterior	Neutra	No
2	GAPSLAPN	Anteroposterior	Neutra	No
3	LEAPCP	Anteroposterior	Desviación cubital	No
4	GAPSLAPCP	Anteroposterior	Desviación cubital	No
5	LEAPNRP	Anteroposterior	Desviación radial	No
6	GAPSLAPRP	Anteroposterior	Desviación radial	No
7	LEAPFCU	Anteroposterior	Dinámica	FCU
8	GAPSLAPFCU	Anteroposterior	Dinámica	FCU
9	LEAPR	Anteroposterior	Dinámica	ECRL Y ECRB
10	GAPSLAPR	Anteroposterior	Dinámica	ECRL Y ECRB
11	LEAPECU	Anteroposterior	Dinámica	ECU
12	GAPSLAPECU	Anteroposterior	Dinámica	ECU
13	LEAPFCR	Anteroposterior	Dinámica	FCR
14	GAPSLAPFCR	Anteroposterior	Dinámica	FCR
15	AIPRDLN	Lateral	Neutra	No
16	ASLLN	Lateral	Neutra	No
17	ARLLN	Lateral	Neutra	No
18	LELN	Lateral	Neutra	No
19	DSTLN	Lateral	Neutra	No
20	AIPRDLE	Lateral	Extensión	No
21	ASLLE	Lateral	Extensión	No
22	ARLLE	Lateral	Extensión	No
23	LELE	Lateral	Extensión	No
24	DSTLE	Lateral	Extensión	No
25	AIPRDLF	Lateral	Flexión	No
26	ASLLF	Lateral	Flexión	No
27	ARLLF	Lateral	Flexión	No
28	LELF	Lateral	Flexión	No
29	DSTLF	Lateral	Flexión	No
30	AIPRDLFCR	Lateral	Dinámica	FCR
31	ASLLFCR	Lateral	Dinámica	FCR
32	ARLLFCR	Lateral	Dinámica	FCR
33	LELFCR	Lateral	Dinámica	FCR
34	DSTLFCR	Lateral	Dinámica	FCR

Tabla 8: Variables según las proyecciones del estudio

1. LEAPN: Longitud normalizada del escafoides en AP neutra.
2. GAPSLAPN: GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP neutra.
3. LEAPCP: Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP en desviación cubital pasiva.
4. GAPSLAPCP: GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP en desviación cubital pasiva.
5. LEAPNRP: Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP en desviación radial pasiva.
6. GAPSLAPRP: GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP en desviación radial pasiva.
7. LEAPFCU: Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción del tendón *flexor carpi ulnaris*.
8. GAPSLAPFCU: GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del tendón *flexor carpi ulnaris*.
9. LEAPR: Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción de los tendones *extensor carpi radialis longus y brevis*.
10. GAPSLAPR: GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción de los tendones *extensor carpi radialis longus y brevis*.
11. LEAPECU: Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción del tendón *extensor carpi ulnaris*
12. GAPSLAPECU: GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del tendón *extensor carpi ulnaris*.
13. LEAPFCR: Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*.
14. GAPSLAPFCR: GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*.
15. AIPRDLN: Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral neutra
16. ASLLN: Ángulo escafosemilunar en proyección lateral neutra.
17. ARLLN: Ángulo radiolunar en proyección lateral neutra.

18. LELN: Longitud del escafoides en proyección lateral neutra.
19. DSTLN: Subluxación normalizada del polo proximal del escafoides en proyección lateral neutra.
20. AIPRDLE: Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral en extensión.
21. ASLLE: Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en extensión.
22. ARLLE: Ángulo radiolunar en proyección lateral en extensión.
23. LELE: Longitud del escafoides en proyección lateral en extensión.
24. DSTLE: Subluxación normalizada del polo proximal del escafoides en proyección lateral en extensión.
25. AIPRDLF: Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral en flexión.
26. ASLLF: Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en flexión.
27. ARLLF: Ángulo radiolunar en proyección lateral en flexión.
28. LELF: Longitud del escafoides en proyección lateral en flexión.
29. DSTLF: Subluxación normalizada del polo proximal del escafoides en proyección lateral en flexión.
30. AIPRDLFCR: Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*.
31. ASLLFCR: Ángulo escafosemilunar en proyección lateral bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*.
32. ARLLFCR: Ángulo radiolunar en proyección lateral bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*.
33. LELFCR: Longitud del escafoides en proyección lateral bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*.
34. DSTLFCR: Subluxación normalizada del polo proximal del escafoides en proyección lateral bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*.

A cada variable se le añadió el número 1, 2 o 3 dependiendo de la fase en la que se tomara la proyección:

- Las proyecciones tomadas en situación basal (fase 1), se tipificaron como 1.
- Las proyecciones tomadas tras la realización del modelo de inestabilidad (fase 2), se tipificaron como 2.
- Las proyecciones tomadas tras la realización de la osteotomía (fase 3), se tipificaron como 3.

5.5 Análisis estadístico

Se realizó en primer lugar un análisis descriptivo. Todas las variables observadas fueron numéricas y los resultados obtenidos se expresaron como medias \pm desviación estándar. Se hicieron comparaciones entre los parámetros obtenidos en cada una de las tres fases del procedimiento experimental siguiendo el siguiente orden de comparación:

- Situación basal vs. tras la creación del modelo de inestabilidad
- Modelo de inestabilidad vs. tras la realización de la osteotomía.
- Situación basal vs. tras la realización de la osteotomía.

Debido a que los especímenes que componen las muestras que van a ser objeto de comparación son los mismos, y los datos obtenidos del estudio radiocinemático responden a observaciones realizadas sobre esa misma muestra en momentos diferentes del estudio, es decir, antes y después de aplicar una determinada intervención (realización del modelo de inestabilidad o de realizar la osteotomía), consideramos las muestras como dependientes o apareadas (pareadas).

Dado que el tamaño muestral fue de 15 especímenes, no se pudo asegurar la distribución normal de los datos recogidos, por lo que se aplicó el test de Wilcoxon (no paramétrico para muestras apareadas). Se utilizó SPSS v.25.0. (IBM Corp., Armonk NY) para el análisis estadístico. Se aceptó un error α del 5% con un intervalo de confianza del 95%, considerándose significativo $p < 0,05\%$.

6.RESULTADOS

6. RESULTADOS

a) Estudio radiocinemático del carpo en los especímenes en estadio basal

Las tablas 9 hasta la 13 recogen los valores observados de cada variable en las distintas proyecciones radiológicas realizadas. Los valores de la longitud normalizada del escafoides, gap escafosemilunar y DST se recogen en milímetros; los valores del ángulo escafosemilunar, ángulo radiolunar y ángulo de inclinación palmar del radio distal se recogen en grados.

i. Proyecciones anteroposteriores

VARIABLE	PROYECCIÓN											
	APN1				APCP1				APRP1			
	LE1	LEN1	GAPSL1	GAPSLN1	LE1	LEN1	GAPSL1	GAPSLN1	LE1	LEN1	GAPSL1	GAPSLN1
MANO												
1	2,39	0,77	0,11	0,04	2,71	1,01	0,26	0,09	2,43	0,77	0,24	0,04
2	2,45	0,81	0,17	0,07	2,81	1,01	0,31	0,12	2,51	0,78	0,28	0,06
3	2,45	0,81	0,17	0,07	2,81	1,01	0,31	0,09	2,51	0,78	0,28	0,06
4	2,33	0,76	0,21	0,06	2,77	1,01	0,3	0,09	2,42	0,78	0,21	0,06
5	2,3	0,79	0,22	0,07	2,73	1,01	0,31	0,09	2,44	0,72	0,21	0,07
6	2,83	0,88	0,21	0,08	2,89	1,22	0,27	0,08	2,68	1,28	0,24	0,06
7	2,79	0,92	0,26	0,07	2,8	1,2	0,25	0,04	2,2	0,74	0,3	0,04
8	2,17	0,77	0,23	0,08	2,9	1,23	0,4	0,1	2,8	0,73	0,25	0,08
9	2,8	0,96	0,31	0,1	3,21	1,5	0,37	0,13	2,8	0,93	0,3	0,09
10	2,64	0,8	0,24	0,07	2,77	1,01	0,31	0,08	2,49	0,77	0,22	0,06
11	2,1	0,77	0,3	0,11	2,4	1,04	0,1	0,06	1,92	0,66	0,2	0,05
12	2,4	0,91	0,1	0,04	2,45	1,04	0,1	0,05	2,8	0,89	0,1	0,04
13	2,85	0,75	0,1	0,04	2,95	1,23	0,17	0,06	1,2	0,68	0,14	0,04
14	2,54	0,79	0,24	0,06	2,78	1,01	0,31	0,09	2,56	0,77	0,23	0,05
15	2,49	0,76	0,23	0,06	2,71	1,24	0,32	0,08	2,45	0,73	0,19	0,06

Tabla 9: Valores obtenidos en la medición en milímetros de: Longitud del escafoides (LE1), Gap escafosemilunar (GAPSL1) y sus respectivos valores normalizados (LEN1 y GAPSLN1), en

proyección Anteroposterior Neutra (APN1), Desviación Cubital Máxima (APCP1) y Desviación Radial Máxima (APRP1) en situación basal (fase 1)

VARIABLE	PROYECCIÓN							
	APR1				APECU1			
	LE1	LEN1	GAPSL1	GAPSLN1	LE1	LEN1	GAPSL1	GAPSLN1
MANO								
1	2,61	0,81	0,23	0,06	4	1,21	0,24	0,11
2	2,72	0,85	0,26	0,08	2,93	1,23	0,33	0,12
3	2,72	0,85	0,26	0,08	2,93	1,23	0,33	0,12
4	2,52	0,82	0,2	0,07	3,11	1,18	0,31	0,11
5	2,57	0,89	0,19	0,08	2,91	1,09	0,31	0,1
6	2,99	0,95	0,11	0,03	3,4	1,51	0,32	0,14
7	2,81	1,07	0,31	0,08	3,2	1,25	0,29	0,11
8	2,62	0,84	0,35	0,08	3,91	1,27	0,4	0,11
9	3,11	1,12	0,25	0,08	2,9	1,11	0,31	0,11
10	2,39	0,84	0,21	0,08	2,92	1,15	0,29	0,08
11	2	0,9	0,25	0,11	2,9	0,95	0,15	0,07
12	2,65	1,3	0,18	0,08	2,8	0,95	0,21	0,06
13	2,1	0,93	0,18	0,08	2,95	0,85	0,23	0,07
14	2,66	0,83	0,2	0,08	2,99	1,09	0,31	0,1
15	2,55	0,86	0,19	0,09	3,01	1,13	0,3	0,09

Tabla 10: Valores obtenidos en la medición en milímetros de la Longitud del escafoides (LE1), Gap escafosemilunar (GAPSL1) y sus respectivos valores normalizados (LEN1 y GAPSLN1), en proyección Anteroposterior bajo tracción del tendón *extensor carpi ulnaris* (APECU1) y los tendones *extensor carpi radialis longus y brevis* (APR1) en situación basal (fase 1)

VARIABLE	PROYECCIÓN							
	APFCU1				APFCR1			
	LE1	LEN1	GAPSL1	GAPSLN1	LE1	LEN1	GAPSL1	GAPSLN1
MANO								
1	2,51	0,8	0,2	0,05	1,91	0,67	0,25	0,08
2	2,61	0,76	0,19	0,05	2,01	0,75	0,26	0,08
3	2,61	0,79	0,19	0,05	2,01	0,75	0,26	0,08
4	2,44	0,71	0,19	0,06	1,92	0,68	0,25	0,07
5	2,5	0,76	0,18	0,05	1,87	0,75	0,25	0,07
6	2,58	1,08	0	0	2,4	0,86	0,28	0,11
7	2,4	0,92	0,2	0,07	1,8	0,66	0,3	0,11
8	2,6	0,71	0,2	0,09	2,6	0,65	0,4	0,13
9	2,8	0,85	0	0,05	1,8	0,64	0,28	0,13
10	2,71	0,71	0,31	0,09	2,11	0,74	0,26	0,09
11	1,8	0,63	0,27	0,05	1,1	0,57	0,2	0,12
12	2,8	0,89	0,15	0,05	1,4	0,66	0,15	0,05
13	2,2	0,72	0,18	0,06	2,01	0,62	0,16	0,06
14	2,51	0,77	0,19	0,07	1,91	0,75	0,26	0,08
15	2,49	0,72	0,24	0,07	1,86	0,69	0,28	0,08

Tabla 11: Valores obtenidos en la medición en milímetros de la Longitud del escafoides (LE1), Gap escafosemilunar (GAPSL1) y sus respectivos valores normalizados (LEN1 y GAPSLN1), en proyección Anteroposterior bajo tracción del tendón *flexor carpi ulnaris* (APFCU1) y *flexor carpi radialis* (APFCR1) en situación basal (fase 1)

ii. Proyecciones laterales

VARIABLE	PROYECCIÓN									
	LN1					LE1				
	AIPRD1	ASL1	LE1	DST1	ARL1	AIPRD1	ASL1	LE1	DST1	ARL1
MANO										
1	11,1	35,3	2,12	0,61	10,2	11,1	35,4	2,62	0,68	13,1
2	10,2	41,5	2,32	0,42	8,6	10,4	39,2	2,41	0,41	12,2
3	11,2	42,7	2,45	0,4	10,9	10,5	40,6	2,25	0,45	13,4
4	11,2	32,1	2,51	0,45	9,9	11,1	31,1	2,53	0,45	10,8
5	11,2	37,2	2,37	0,33	10,4	10,1	35,5	3,23	0,37	12,8
6	10,7	47,1	1,94	0,74	31,5	10,3	17,1	1,92	0,78	44,2
7	10,5	67,1	3,07	0,45	9,4	10,4	41,1	3,99	0,15	22,5
8	10,3	58,1	2,94	0,42	21,3	10,2	33,2	3,39	0,15	24,3
9	10,8	59,2	1,48	0,56	17,1	20,7	57,1	2,67	0,39	33,5
10	10,6	42,1	2,41	0,44	12,3	10,2	40,3	2,32	0,28	14,2
11	10,2	60,7	2,08	0,38	14,1	11,2	58,1	2,6	0,36	27,9
12	10,6	50,6	1,89	0,23	6,1	18,5	50,2	2,26	0,21	14,1
13	15,2	46,2	2,54	0,26	7,3	10,8	24,2	3,18	0,24	18,6
14	11,1	35,7	2,45	0,34	8,8	11,2	33,9	2,43	0,36	10,3
15	10,2	42,2	2,52	0,23	4,6	10,4	40,4	2,28	0,42	10,4

Tabla 12: Valores obtenidos en la medición del Ángulo de Inclinación Palmar del Radio Distal (AIPRD), Ángulo Escafo-Semilunar (ASL) y Ángulo Radio-Lunar (ARL) expresadas en grados sexagesimales, y de la Longitud del Escafoides (LE) y Traslación Dorsal del Escafoides (DST) expresadas en milímetros en las proyecciones Lateral Neutra (LN1) y en Lateral en Extensión (LE1) en situación basal (fase 1)

PROYECCIÓN										
	LF1					LFCR1				
VARIABLE	AIPRD1	ASL1	LE1	DST1	ARL1	AIPRD1	ASL1	LE1	DST1	ARL1
MANO										
1	10,2	30,3	2,34	0,66	8,1	10,4	52,3	2,31	0,42	8,2
2	11,1	52,3	2,23	0,47	10,1	10,3	51,6	2,64	0,48	10,3
3	10,6	47,5	2,89	0,48	12,1	11,1	52,1	2,78	0,38	12,1
4	10,1	41,9	2,79	0,24	9,8	10,2	50,3	3,12	0,42	9,7
5	10,1	42,6	3,01	0,31	12,1	10,8	51,2	3,31	0,24	11,6
6	10,2	53,8	2,74	0,18	34,8	11,2	54,4	3,12	0,23	14,3
7	14,5	56,3	3,12	0,33	19,6	15,2	57,2	3,14	0,29	12,1
8	16,8	54,6	1,97	0,45	10,3	12,5	76,1	3,41	0,35	12,8
9	18,8	59,1	3,15	0,34	27,7	17,1	76,2	3,01	0,31	21,9
10	10,3	53,5	2,85	0,25	11,1	10,5	56,9	3,21	0,12	10,3
11	14,6	63,7	2,21	0,15	10,6	12,1	64,2	2,06	0,31	20,1
12	12,3	55,3	2,9	0,31	20,8	18,4	55,1	2,92	0,24	26,2
13	10,3	46,7	2,75	0,37	15,2	28,5	55,4	2,32	0,29	26,3
14	11,2	44,6	2,65	0,24	11,8	10,9	48,8	3,16	0,27	10,1
15	10,3	50,3	2,48	0,33	8,3	10,6	51,2	2,89	0,35	8,1

Tabla 13: Valores obtenidos en la medición del Ángulo de Inclinación Palmar del Radio Distal (AIPRD1), Ángulo Escafo-Semilunar (ASL1) y Ángulo Radio-Lunar (ARL1) expresadas en grados sexagesimales, y de la Longitud del Escafoides (LE1) y Traslación Dorsal del Escafoides (DST1) expresadas en milímetros en las proyecciones Lateral en Flexión (LF1) y en Lateral en flexión bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis* (LFCR1) en situación basal (fase 1)

iii. Valores medios

Los valores obtenidos en el estudio radiocinemático en situación basal (fase 1) se han resumido en la tabla 14, donde se detalla rango, media y desviación típica.

	ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS – FASE 1				
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP neutra basal	15	0,75	0,96	0,8843	0,13290
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP neutra basal	15	0,04	0,10	0,0857	0,02699
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP en desviación cubital pasiva basal	15	1,01	1,50	1,2029	0,18319
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP en desviación cubital pasiva basal	15	0,04	0,15	0,0900	0,04397
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP en desviación radial pasiva basal	15	0,63	1,28	0,8586	0,24883
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP en desviación radial pasiva basal	15	0,04	0,09	0,0814	0,01864
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción del cubital posterior basal	15	0,85	1,51	1,1243	0,22970
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del cubital posterior basal	15	0,06	0,14	0,0971	0,03039
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción de los radiales basal	15	0,81	1,30	0,9829	0,15777
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción de los radiales basal	15	0,03	0,11	0,0771	0,02928
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción del cubital anterior basal	15	0,63	1,08	0,9057	0,20566

TESIS DOCTORAL	RODRIGO CAÑADILLAS RUEDA				
-----------------------	---------------------------------	--	--	--	--

GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del cubital anterior basal	15	0,05	0,09	0,0813	0,02936
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción del palmar mayor basal	15	0,57	0,86	0,6829	0,10468
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del palmar mayor basal	15	0,05	0,13	0,0924	0,03976
Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral neutra basal	15	10,2	15,2	12,957	2,9272
Ángulo escafosemilunar en proyección lateral neutra basal	15	32,1	67,1	48,471	7,9678
Ángulo radiolunar en proyección lateral neutra basal	15	4,6	31,5	15,229	9,0188
Longitud del escafoides en proyección lateral neutra basal	15	1,48	3,07	2,2771	0,58807
Traslación dorsal del escafoides en proyección lateral neutra basal	15	0,23	0,74	0,3143	0,17549
Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral en extensión basal	15	10,1	20,7	13,157	2,4598
Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en extensión basal	15	24,2	58,1	42,486	17,4745
Ángulo radiolunar en proyección lateral en extensión basal	15	10,3	44,2	28,443	10,0103
Longitud del escafoides en proyección lateral en extensión basal	15	1,92	3,99	3,0014	0,86675
Traslación dorsal del escafoides en proyección lateral en extensión basal	15	0,15	0,78	0,3043	0,22233
Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral en flexión basal	115	10,1	18,8	13,929	3,2268
Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en flexión basal	15	30,3	63,7	59,357	12,3712
Ángulo radiolunar en proyección lateral en flexión basal	15	10,3	44,2	14,857	8,9859

Longitud del escafoides en proyección lateral en flexión basal	15	1,97	3,15	2,6900	0,44818
Traslación dorsal del escafoides en proyección lateral en flexión basal	15	0,15	0,66	0,3043	0,10549
Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor basal	15	10,2	28,5	17,720	6,6311
Ángulo escafosemilunar en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor basal	15	48,8	76,2	63,400	20,6668
Ángulo radiolunar en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor basal	15	8,1	26,3	13,460	5,5437
Longitud del escafoides en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor basal	15	2,06	3,41	2,8700	0,42497
Traslación dorsal del escafoides en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor basal	15	0,12	0,48	0,2960	0,03912

Tabla 14: Valores medios de los estadísticos descriptivos en la fase 1 (situación basal)

I. Comportamiento del carpo en situación basal

i. Proyecciones anteroposteriores:

En situación basal, las estructuras cápsulo-ligamentosas del carpo están indemnes, por lo que existe congruencia articular y los movimientos de los huesos del carpo se producen de forma fisiológica. Debido a que los especímenes seleccionados no tenían patología previa ni ósea ni articular, los valores de las variables en las proyecciones realizadas obedecen a un patrón de normalidad.

Podemos observar cómo en las proyecciones anteroposteriores en desviación cubital máxima la primera hilera del carpo se extiende completamente alcanzando el eje

mayor del escafoides su máxima longitud media ($1,20 \pm 0,18$ mm), y cómo en desviación radial máxima por el efecto contrario disminuye ($0,85 \pm 0,24$ mm) con respecto a la posición neutra ($0,88 \pm 0,13$ mm)

Por la misma razón, el gap escafosemilunar aumenta en desviación cubital máxima ($0,09 \pm 0,04$ mm) y disminuye en desviación radial máxima ($0,08 \pm 0,18$ mm) con respecto a la posición neutra ($0,08 \pm 0,02$ mm) (Fig 105). Debido a la integridad del ligamento escafosemilunar y de los estabilizadores secundarios, los cambios en el gap escafosemilunar observados en las proyecciones anteroposteriores son sutiles, lo cual está motivado por la correcta estabilidad de la articulación escafosemilunar sana y la pequeña variación observada se atribuye a la elasticidad intrínseca del ligamento.

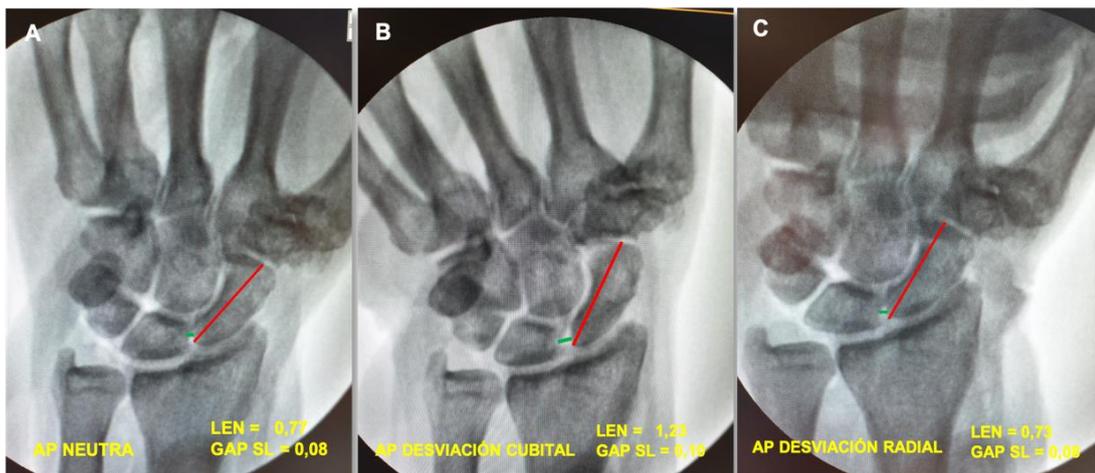


Fig. 105: Medición de la longitud del escafoides y del gap escafosemilunar en las proyecciones anteroposteriores en la mano nº 8 en situación basal. A = Neutro. B = Desviación cubital. C = Desviación radial

En proyección anteroposterior bajo tracción del tendón ECU comprobamos cómo la longitud normalizada máxima del escafoides se sitúa $1,12 \pm 0,22$ mm, reduciéndose hasta $0,98 \pm 0,15$ mm bajo tracción de los tendones ECRL y ECRB, reduciéndose aún más bajo tracción del tendón FCU hasta $0,90 \pm 0,20$ mm y alcanzando valores mínimos bajo tracción del tendón FCR, registrando una longitud media de $0,68 \pm 0,10$ mm.

El GAP escafosemilunar normalizado medido en proyección anteroposterior bajo tracción del tendón ECU fue de $0,09 \pm 0,003$ mm en promedio, distancia que se redujo a $0,07 \pm 0,02$ mm bajo tracción del ECRL Y ECRB. Sin embargo, los valores registrados bajo tracción del FCU aumentaron hasta una distancia promedio de $0,081 \pm 0,02$ mm y bajo tracción del FCR el aumentaron aún más hasta situarse en $0,092 \pm 0,03$ mm en promedio (Fig. 106).

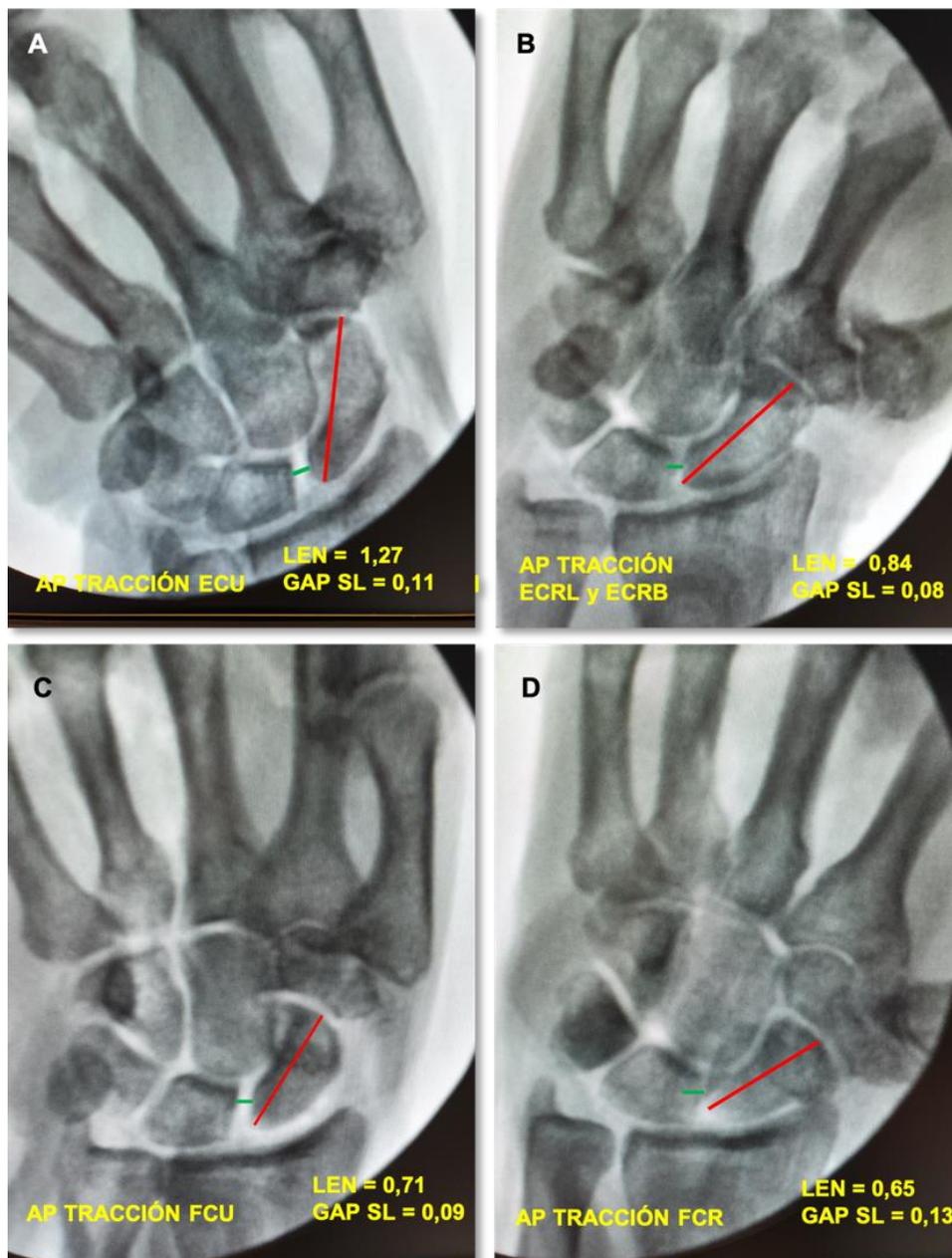


Fig. 106: Medición de la longitud del escafoide y del gap escafosemilunar en las proyecciones anteroposteriores en la mano nº 8 en situación basal. A = Tracción ECU; B = Tracción ECRL y ECRB; C = Tracción FCU; D = Tracción FCR.

II. Proyecciones laterales

En ángulo escafosemilunar medido en la proyección lateral con flexoextensión neutra fue de $48,4^\circ \pm 7,9^\circ$ en promedio, disminuyendo hasta $42,4^\circ \pm 17,4^\circ$ en proyección lateral en extensión y aumentando su magnitud en las proyecciones en flexión, llegando hasta $59,3^\circ \pm 12,3^\circ$ en flexión sin tracción y hasta $63,4^\circ \pm 20,6^\circ$ bajo tracción del tendón FCR (Fig. 107).

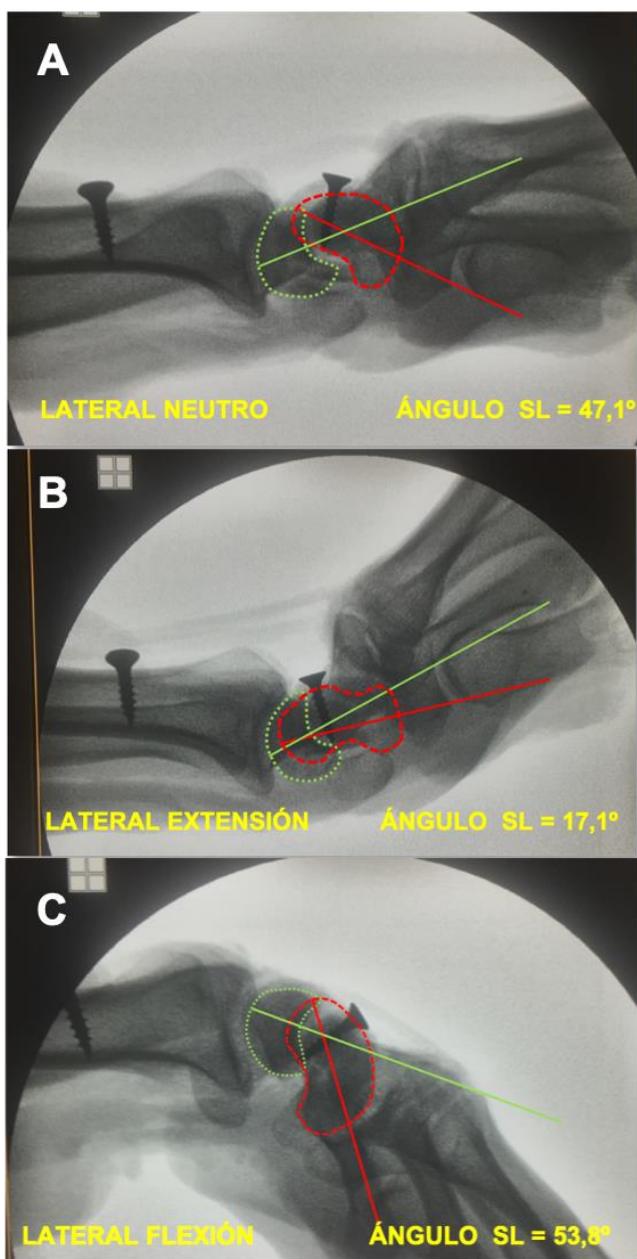


Fig. 107: Determinación del ángulo escafosemilunar en las proyecciones laterales en la mano nº 6 en situación basal. A = Neutro. B = Extensión. C = Flexión

El ángulo radiolunar determinado en proyección lateral neutra fue en promedio $15,2^{\circ} \pm 9,01^{\circ}$. Este valor aumentó hasta $28,4^{\circ} \pm 10,01^{\circ}$ medidos en extensión y se redujo en las proyecciones en flexión máxima sin tracción, hasta los $14,8^{\circ} \pm 8,9^{\circ}$, y algo más aún bajo tracción del tendón FCR, hasta los $13,4^{\circ} \pm 5,5^{\circ}$. De forma análoga a la variabilidad observada en el ángulo escafosemilunar, el ángulo radiolunar puede variar su magnitud normal de 0 a 15° en neutro aumentando o disminuyendo su valor con la muñeca en flexoextensión neutra dependiendo del grado de flexoextensión de la muñeca manteniendo la relación fisiológica entre el semilunar y el radio distal y la congruencia articular del escafoides con el semilunar favorecida la integridad de las estructuras estabilizadoras del carpo.

La traslación dorsal del escafoides promedia observada en proyección lateral con la muñeca en flexoextensión neutra fue de $0,31 \pm 0,17$ mm en promedio, valor muy similar al encontrado en las proyecciones en extensión máxima ($0,30 \pm 0,22$ mm), flexión máxima ($0,304 \pm 0,105$ mm) y flexión máxima bajo tracción del tendón FCR ($0,29 \pm 0,039$ mm) lo cual se produce por el mantenimiento de la congruencia articular fisiológica entre el polo proximal del escafoides y el semilunar a lo largo de todo el recorrido articular en la muñeca sana con integridad de las estructuras estabilizadoras de la articulación escafosemilunar (Fig. 108 y 109).

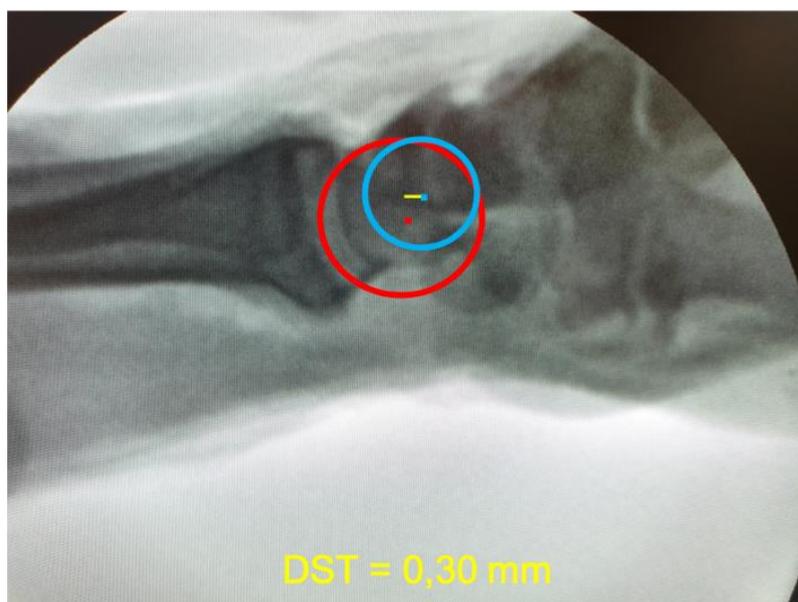


Fig. 108: Medición del DST en proyección lateral neutra en la mano n° 8 en estadio basal

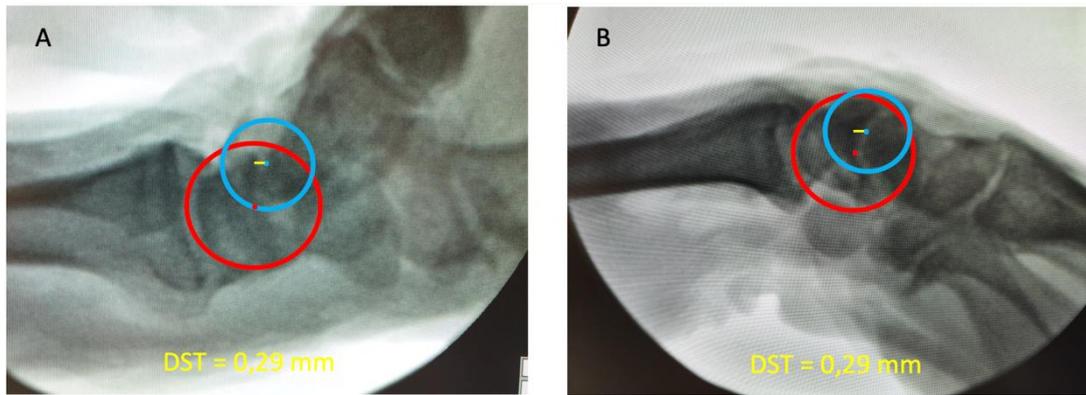


Fig. 109: Medición del DST en proyección lateral en extensión (A) y en flexión (B) en la mano n° 8 en estadio basal.

b) Estudio radiocinemático de del carpo en los especímenes tras la realización del modelo de inestabilidad

Una vez concluido el estudio radiocinemático en situación basal (fase 1) realizamos el modelo de inestabilidad en los 15 especímenes (fase 2), para prodecer a la determinación de las variables en las proyecciones según la misma secuencia que en la fase 1, y las marcamos como 2 para referir que se hicieron sobre los especímenes en los que se había creado el modelo de inestabilidad: APN2, APCP2, APRP2, APR2, APECU2, APFCU2, APFCR2, LN2, LE2, LF2 y LFCR2; al igual que en situación basal, en cada espécimen tomamos todas las proyecciones y en cada proyección realizamos la medida de todas las variables. Los resultados fueron tabulados en formato Excel, indicando los valores obtenidos y los valores normalizados según la referencia de cada parámetro marcándolo con N.

i. Proyecciones anteroposteriores

VARIABLE	PROYECCIÓN											
	APN2				APCP2				APRP2			
	LE2	LEN2	GAPSL2	GAPSLN2	LE2	LEN2	GAPSL2	GAPSLN2	LE2	LEN2	GAPSL2	GAPSLN2
MANO												
1	2,12	0,73	0,17	0,06	2,58	1,06	0,36	0,14	1,93	0,37	0	0,05
2	1,69	0,63	0,28	0,1	2,42	1,25	0,39	0,2	2,52	0,89	0,47	0,16
3	1,98	0,69	0,27	0,1	2,71	0,96	0,38	0,09	1,91	0,72	0,28	0,1
4	3,39	0,78	0,33	0,08	3,21	1,29	0,52	0,2	2,45	0,81	0,33	0,13
5	3,19	1,39	0	0	3,34	1,31	0,42	0,16	2,58	1,01	0,08	0,06
6	2,32	0,98	0,27	0,1	3,43	1,26	0,34	0,13	2,72	0,92	0,14	0,09
7	2,35	0,88	0,35	0,09	4,19	1,1	0,49	0,12	3,11	1,04	0,44	0,08
8	3,2	0,78	0,3	0,12	3,25	1,01	0,53	0,16	2,4	0,75	0,33	0,1
9	3,2	1,31	0,33	0,12	2,6	1,35	0,4	0,2	2,44	0,87	0,25	0,1
10	1,91	0,75	0,69	0,22	2,67	1,21	0,45	0,24	1,7	0,67	0,3	0,22
11	2	0,74	0,35	0,11	2,34	0,91	0,15	0,08	1,59	0,63	0,24	0,07
12	2,39	0,81	0,15	0,06	4,1	1,38	0,12	0,08	2,1	0,75	0,15	0,05
13	2,8	0,89	0,16	0,06	4,04	1,18	0,42	0,12	2,4	0,77	0,15	0,06
14	2,48	0,76	0,31	0,1	2,53	1,31	0,35	0,11	2,42	0,82	0,26	0,09
15	2,39	0,73	0,28	0,07	2,55	1,2	0,35	0,09	2,44	0,71	0,21	0,08

Tabla 15: Valores obtenidos en la medición en milímetros de la Longitud del escafoides (LE2), Gap escafosemilunar (GAPSL2) y sus respectivos valores normalizados (LEN2 y GAPSLN2), en proyección Anteroposterior Neutra (APN2), Desviación Cubital Máxima (APCP2) y Desviación Radial Máxima (APRP2) en los especímenes con modelo de inestabilidad (fase 2)

VARIABLE	PROYECCIÓN							
	APR2				APECU2			
	LE2	LEN2	GAPSL2	GAPSLN2	LE2	LEN2	GAPSL2	GAPSLN2
MANO								
1	2,05	0,80	0,14	0,06	2,66	1,1	0,64	0,16
2	2,53	0,70	0,45	0,16	2,87	0,99	0,28	0,14
3	2,2	0,74	0,17	0,11	3,17	1	0,29	0,08
4	2,43	0,72	0,42	0,09	3,41	1,15	0,48	0,16
5	2,45	0,87	0,24	0,06	3,83	1,5	0,33	0,12
6	2,35	1,01	0,1	0,03	3,34	1,42	0,34	0,16
7	3,08	1,27	0,26	0,09	3,17	1,22	0,52	0,17
8	2,55	0,85	0,4	0,13	3,3	1,01	0,4	0,13
9	2,87	1,11	0,3	0,09	3,3	1,37	0,52	0,12
10	1,6	1	0,2	0,24	2,82	1,8	0,74	0,47
11	1,95	0,74	0,18	0,09	2,68	0,87	0,29	0,09
12	2,3	0,82	0,12	0,09	3	1,27	0,15	0,07
13	2,5	1,13	0,15	0,06	3,16	1,32	0,3	0,12
14	2,52	0,78	0,18	0,09	2,55	0,84	0,35	0,12
15	2,42	0,81	0,16	0,08	2,77	0,99	0,32	0,1

Tabla 16: Valores obtenidos en la medición en milímetros de la Longitud del escafoides (LE2), Gap escafosemilunar (GAPSL2) y sus respectivos valores normalizados (LEN2 y GAPSLN2), en proyección Anteroposterior bajo tracción del tendón *extensor carpi ulnaris* (APECU2) y tendones *extensor carpi radialis longus* y *brevis* (APR2) en los especímenes con modelo de inestabilidad (fase 2)

VARIABLE	PROYECCIÓN							
	APFCU2				APFCR2			
	LE2	LEN2	GAPSL2	GAPSLN2	LE2	LEN2	GAPSL2	GAPSLN2
MANO								
1	1,55	0,7	0,45	0,15	2,17	0,72	0,31	0,12
2	1,8	0,63	0,37	0,13	1,77	0,62	0,3	0,14
3	2,73	0,65	0,35	0,18	1,71	0,62	0,4	0,15
4	2,6	0,76	0,4	0,15	2,18	0,74	0,33	0,1
5	2,18	0,74	0,4	0,13	1,87	0,63	0,31	0,1
6	2,4	0,89	0,63	0,12	2,32	0,75	0,32	0,17
7	2,57	0,81	0,64	0,27	1,67	0,72	0,36	0,17
8	2,4	0,72	0,4	0,11	2,2	0,64	0,4	0,14
9	2,8	0,85	0,3	0,08	1,4	0,63	0,3	0,14
10	3	0,9	0,41	0,17	1,18	0,49	0,48	0,14
11	2,3	0,74	0,35	0,16	2	0,74	0,23	0,13
12	2,9	0,87	0,2	0,08	1,53	0,64	0,15	0,08
13	2,7	0,93	0,61	0,15	1,97	0,54	0,28	0,09
14	2,35	0,73	0,27	0,1	1,88	0,72	0,32	0,11
15	2,37	0,72	0,29	0,08	2,12	0,71	0,31	0,09

Tabla 17: Valores obtenidos en la medición en milímetros de la Longitud del escafoides (LE2), Gap escafosemilunar (GAPSL2) y sus respectivos valores normalizados (LEN2 y GAPSLN2), en proyección Anteroposterior bajo tracción del tendón *flexor carpi ulnaris* (APFCU2) y *flexor carpi radialis* (APFCR2) en los especímenes con modelo de inestabilidad (fase 2)

ii. Proyecciones laterales

VARIABLE	PROYECCIÓN									
	LN2					LE2				
	AIPRD2	ASL2	LE2	DST2	ARL2	AIPRD2	ASL2	LE2	DST2	ARL2
MANO										
1	12,2	60,1	2,43	0,74	25,4	11,2	61,5	2,32	0,75	26,1
2	10,4	66,6	2,45	0,47	17,1	10,6	59,3	2,42	0,52	22,5
3	12,3	66,9	2,32	0,37	20,4	11,7	61,6	2,26	0,42	22,6
4	10,1	66,4	2,32	0,45	17,3	10,3	54,6	2,54	0,46	34,7
5	20,3	58,1	2,62	0,29	24,1	10,5	53,3	3,84	0,32	31,6
6	10,5	67,2	3,11	0,46	64,4	10,3	27,8	1,98	0,41	33,9
7	19,3	73,6	4,49	0,41	2,2	22,5	43,2	4,27	0,32	14,8
8	22,1	72,9	2,41	0,4	28,1	20,3	40,1	2,62	0,26	40,1
9	19,4	72,3	2,44	0,46	35,2	14,6	70,1	2,66	0,37	32,9
10	10,5	60,5	1,61	0,43	31,2	10,2	58,8	2,41	0,27	35,2
11	13,5	81,9	2,51	0,47	16,2	9,5	78,4	2,03	0,43	38,1
12	10,6	71,4	3,68	0,69	11,5	17,2	61,5	3,02	0,33	31,5
13	10,1	64,9	2,38	0,38	19,1	16,3	50,2	2,97	0,34	20,3
14	10,2	62,4	2,51	0,37	24,5	11,3	61,6	2,56	0,33	28,2
15	11,3	65,9	2,42	0,28	19,4	10,1	64,2	2,63	0,41	21,6

Tabla 18: Valores obtenidos en la medición del Ángulo de Inclinación Palmar del Radio Distal (AIPRD2), Ángulo Escafo-Semilunar (ASL2) y Ángulo Radio-Lunar (ARL2) expresadas en grados sexagesimales, y de la Longitud del Escafoides (LE2) y Traslación Dorsal del Escafoides (DST2) expresadas en milímetros en las proyecciones Lateral Neutra (LN2) y en Lateral en Extensión (LE2) en los especímenes con modelo de inestabilidad (fase 2)

PROYECCIÓN										
	LF2					LFCR2				
VARIABLE	AIPRD2	ASL2	LE2	DST2	ARL2	AIPRD2	ASL2	LE2	DST2	ARL2
MANO										
1	10,1	78,3	2,46	0,77	21,2	10,7	79,2	2,46	0,73	20,2
2	11,4	73,2	2,37	0,53	18,3	11,4	77,8	2,45	0,88	19,2
3	11,8	72,3	3,01	0,42	20,9	11,9	78,3	2,89	0,63	19,8
4	11,4	72,2	2,81	0,22	28,3	10,8	78,8	3,22	0,83	22,6
5	19,7	67,1	3,18	0,38	38,1	19,6	82,7	3,57	0,31	35,8
6	12,1	70,6	2,88	0,28	34,8	10,2	74,5	3,63	0,41	21,2
7	26,1	71,4	3,13	0,36	22,8	14,2	96,5	3,23	0,38	20,9
8	21,7	107,9	2,57	0,33	24,6	20,2	84,9	3,21	0,46	12,7
9	11,2	75,4	2,29	0,34	25,8	25,3	88,5	2,47	0,51	41,1
10	13,2	68,2	2,71	0,28	20,2	15,3	79,9	2,25	0,35	20,2
11	10,7	79,4	3,09	0,32	20,3	9,2	82,3	3,09	0,52	10,2
12	10,2	77,6	3,09	0,22	32,8	15,3	83,7	3,12	0,38	36,7
13	10,2	82,2	2,59	0,22	20,5	22,9	88,3	3,09	0,44	37,8
14	11,1	69,1	2,61	0,28	23,6	11,2	83,4	3,23	0,53	22,7
15	10,3	76,4	2,49	0,35	20,5	11,1	82,2	2,88	0,57	19,5

Tabla 19: Valores obtenidos en la medición del Ángulo de Inclinación Palmar del Radio Distal (AIPRD2), Ángulo Escafo-Semilunar (ASL2) y Ángulo Radio-Lunar (ARL2) expresadas en grados sexagesimales, y de la Longitud del Escafoides (LE2) y Traslación Dorsal del Escafoides (DST2) expresadas en milímetros en las proyecciones Lateral en Flexión (LF2) y en Lateral en flexión bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis* (LFCR2) en los especímenes con modelo de inestabilidad (fase 2)

iii. Valores medios

Los valores de las variables obtenidos tras la realización del modelo de inestabilidad (fase 2) se han resumido en la tabla 20, donde se detalla rango, media y desviación típica.

	ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS – FASE 2				
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP neutra con modelo de inestabilidad	15	0,63	1,39	0,8900	0,11888
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP neutra con modelo de inestabilidad	15	0,00	0,22	0,1015	0,07081
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP en desviación cubital pasiva con modelo de inestabilidad	15	0,91	1,35	1,1746	0,15295
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP en desviación cubital pasiva con modelo de inestabilidad	15	0,08	0,24	0,1392	0,05408
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP en desviación radial pasiva con modelo de inestabilidad	15	0,37	1,04	0,8046	0,19033
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP en desviación radial pasiva con modelo de inestabilidad	15	0,05	0,22	0,1185	0,06362
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción del cubital posterior con modelo de inestabilidad	15	0,84	1,80	1,1742	0,29141
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del cubital posterior con modelo de inestabilidad	15	0,07	0,47	0,1500	0,10686
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción de los radiales con modelo de inestabilidad	15	0,70	1,27	,9400	0,19716
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción de los radiales con modelo de inestabilidad	15	0,03	0,24	0,1083	0,05589

Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción del cubital anterior con modelo de inestabilidad	15	0,63	1,23	0,9062	0,16368
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del cubital anterior con modelo de inestabilidad	15	0,08	0,17	0,1192	0,03475
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción del palmar mayor con modelo de inestabilidad	15	0,49	0,75	0,6685	0,17146
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del palmar mayor con modelo de inestabilidad	15	0,08	0,50	0,1731	0,11302
Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral neutra con modelo de inestabilidad	15	10,1	19,4	14,180	5,8223
Ángulo escafosemilunar en proyección lateral neutra con modelo de inestabilidad	15	58,1	81,9,0	71,700	10,7350
Ángulo radiolunar en proyección lateral neutra con modelo de inestabilidad	15	11,5	64,5	23,690	18,0026
Longitud del escafoides en proyección lateral neutra con modelo de inestabilidad	15	0,60	4,49	2,5420	1,05753
Traslación dorsal del polo proximal del escafoides en proyección lateral neutra con modelo de inestabilidad	15	0,29	0,74	0,4540	0,12057
Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral en extensión con modelo de inestabilidad	15	9,5	22,3	14,850	4,6390
Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en extensión con modelo de inestabilidad	15	40,1	78,4	56,820	19,6311
Ángulo radiolunar en proyección lateral en extensión con modelo de inestabilidad	15	14,8	40,1	31,300	7,8273
Longitud del escafoides en proyección lateral en extensión con modelo de inestabilidad	15	1,40	4,27	2,6330	0,88480
Traslación dorsal del polo proximal del escafoides en proyección lateral en extensión con modelo de inestabilidad	15	0,26	0,75	0,4990	0,06740
Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral en flexión con modelo de inestabilidad	15	10,1	26,1	15,650	7,3302

Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en flexión con modelo de inestabilidad	15	67,1	107,9	81,810	15,9440
Ángulo radiolunar en proyección lateral en flexión con modelo de inestabilidad	15	18,3	38,1	26,820	6,4745
Longitud del escafoides en proyección lateral en flexión con modelo de inestabilidad	15	1,70	4,13	2,8260	0,63356
Traslación dorsal del polo proximal del escafoides en proyección lateral en flexión con modelo de inestabilidad	15	0,22	0,77	0,5250	0,12140
Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor con modelo de inestabilidad	15	9,2	25,3	15,160	4,5466
Ángulo escafosemilunar en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor con modelo de inestabilidad	15	77,8	96,5	87,800	12,1458
Ángulo radiolunar en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor con modelo de inestabilidad	15	10,2	41,1	26,850	11,1194
Longitud del escafoides en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor con modelo de inestabilidad	15	2,25	3,63	3,0750	0,43030
Traslación dorsal del polo proximal del escafoides en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor con modelo de inestabilidad	15	0,31	0,88	0,5890	0,10290

Tabla 20: Valores medios de los estadísticos descriptivos en la fase 2 (modelo de inestabilidad)

iv. Comportamiento del carpo con el modelo de inestabilidad

Durante la disección, comprobamos que la sección aislada del SLIL puede provocar tan solo cambios sutiles en la alineación del escafoides, pero no era suficiente para causar inestabilidad escafosemilunar estática. Secuencialmente confirmamos que al seccionar también los ligamentos radio-escafo-hueso grande y los ligamentos del área escafo-trapeciotrapezoidal el escafoides quedaba completamente dissociado del semilunar, se

producía la inestabilidad macroscópica y aparecía la subluxación rotatoria del escafoides, observando desde una visión dorsal cómo el escafoides se verticalizaba y se montaba sobre el labio dorsal de la fosa sigmoidea del radio.

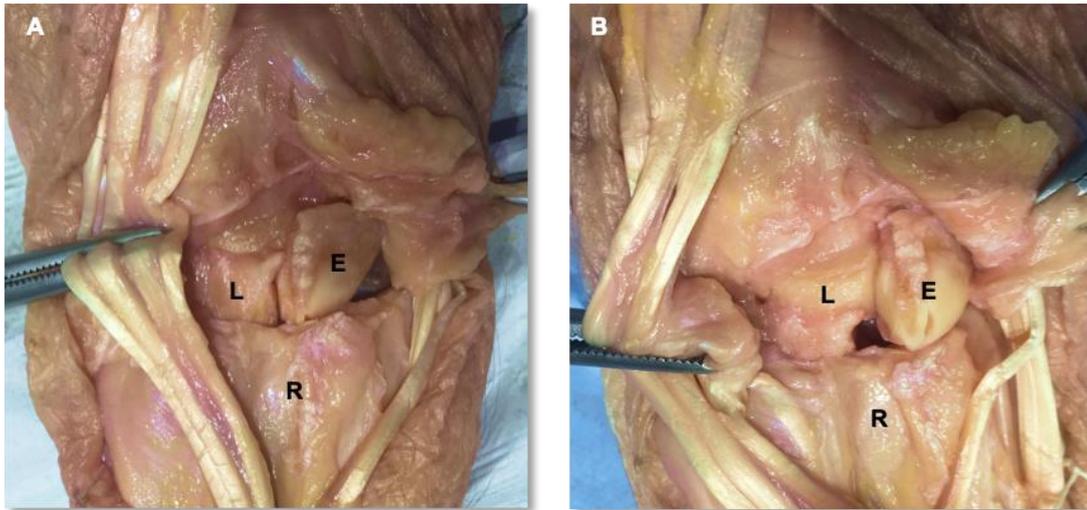


Fig. 110: A: Sección aislada de SLIL. Ausencia de subluxación rotatoria del escafoides. B: Sección de SLIL + Estabilizadores secundarios. Subluxación rotatoria del escafoides. E: Escafoides; L: Semilunar; R: Radio.

i. Proyecciones anteroposteriores:

En el estudio radioscópico en proyección AP neutra se registró una longitud normalizada del escafoides de $0,89 \pm 0,11$ mm y un gap escafosemilunar normalizado de $0,10 \pm 0,07$ mm. (Fig. 111).

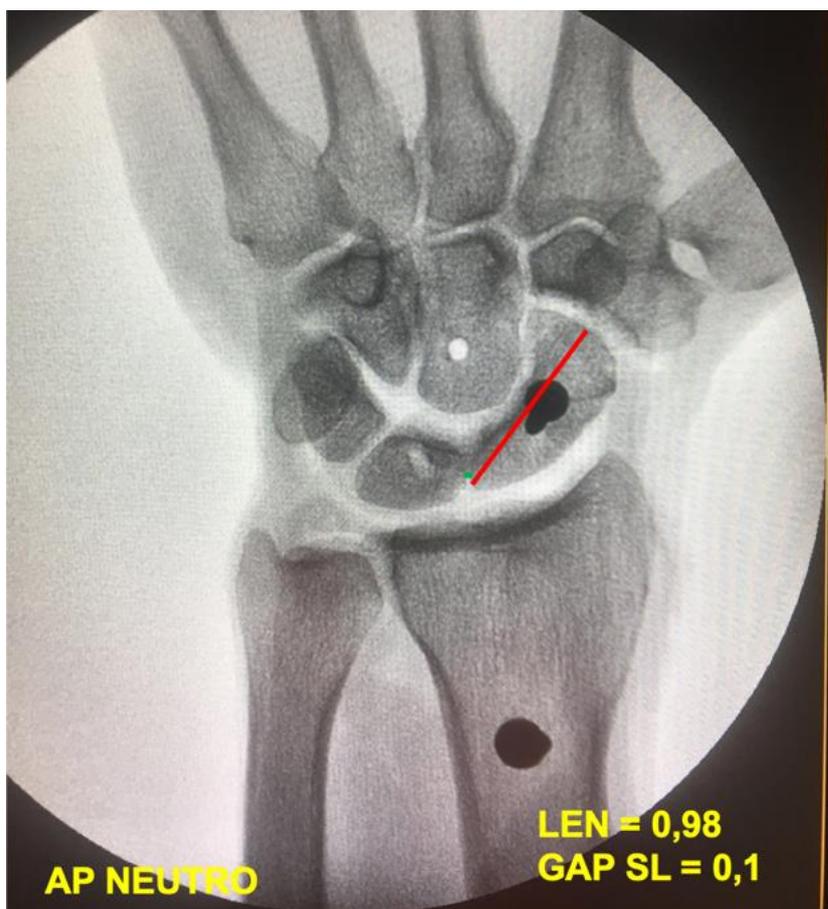


Fig. 111: Medición de LEN y GAPSLN en proyección AP neutra en la mano nº 6 tras la realización del modelo de inestabilidad.

Se confirmó que en máxima desviación cubital pasiva y bajo tracción del tendón cubital posterior toda la hilera proximal del carpo estaba extendida, observándose la máxima longitud de escafoides ($1,17 \pm 0,15$ mm y $1,17 \pm 0,29$ mm respectivamente) y el máximo valor del gap escafosemilunar ($0,13 \pm 0,05$ mm y $0,15 \pm 0,10$ mm respectivamente, Fig. 112)

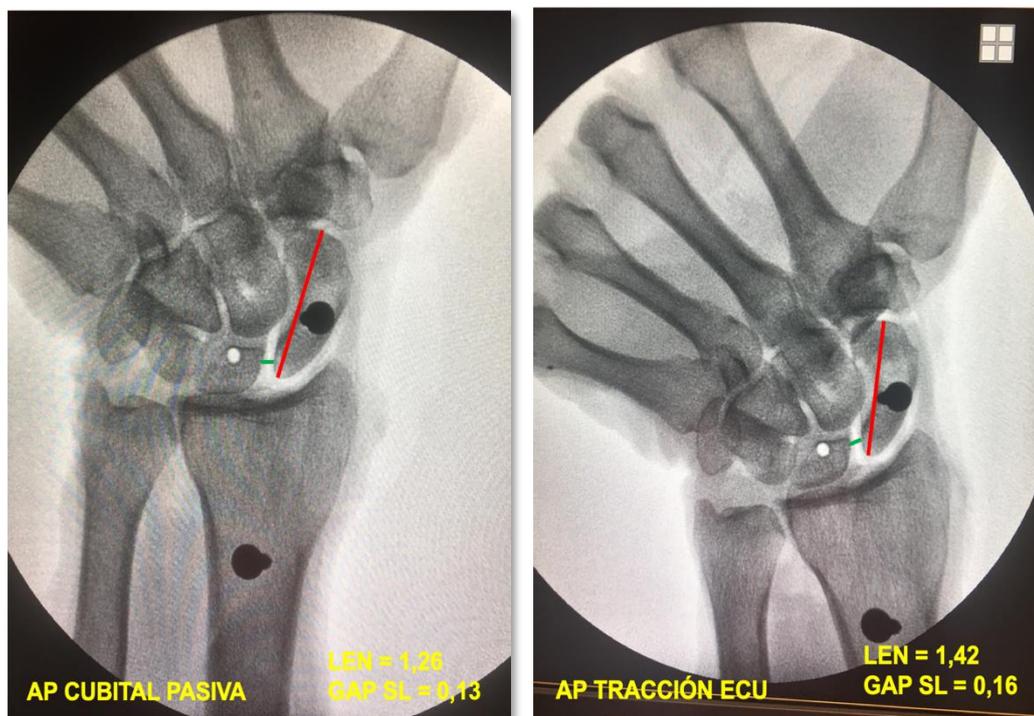


Fig. 112: Medición de LEN y GAPSLN en proyección AP en desviación cubital pasiva y bajo tracción del ECU en la mano nº 6 tras la realización del modelo de inestabilidad.

Por el contrario, en máxima desviación radial pasiva la hilera proximal del carpo se encontraba flexionada, y con la flexión del escafoides se pudo observar el signo del anillo. Esto se tradujo en una disminución de la longitud normalizada del escafoides registrada hasta $0,80 \pm 0,19$ mm y una disminución del gap escafosemilunar normalizado hasta $0,11 \pm 0,006$ mm en promedio (Fig. 113)



Fig. 113: Medición de LEN y GAPSLN en proyección AP en desviación radial pasiva en la mano n° 6 tras la realización del modelo de inestabilidad.

La tracción de los tendones radiales revirtió la desalineación, produciendo extensión del escafoides que recuperó longitud y mostró valores de $0,94 \pm 0,19$ mm en promedio, y redujo el gap escafosemilunar hasta $0,10 \pm 0,05$ mm en promedio. En esta proyección también se observó la corrección del signo del anillo (Fig. 114)

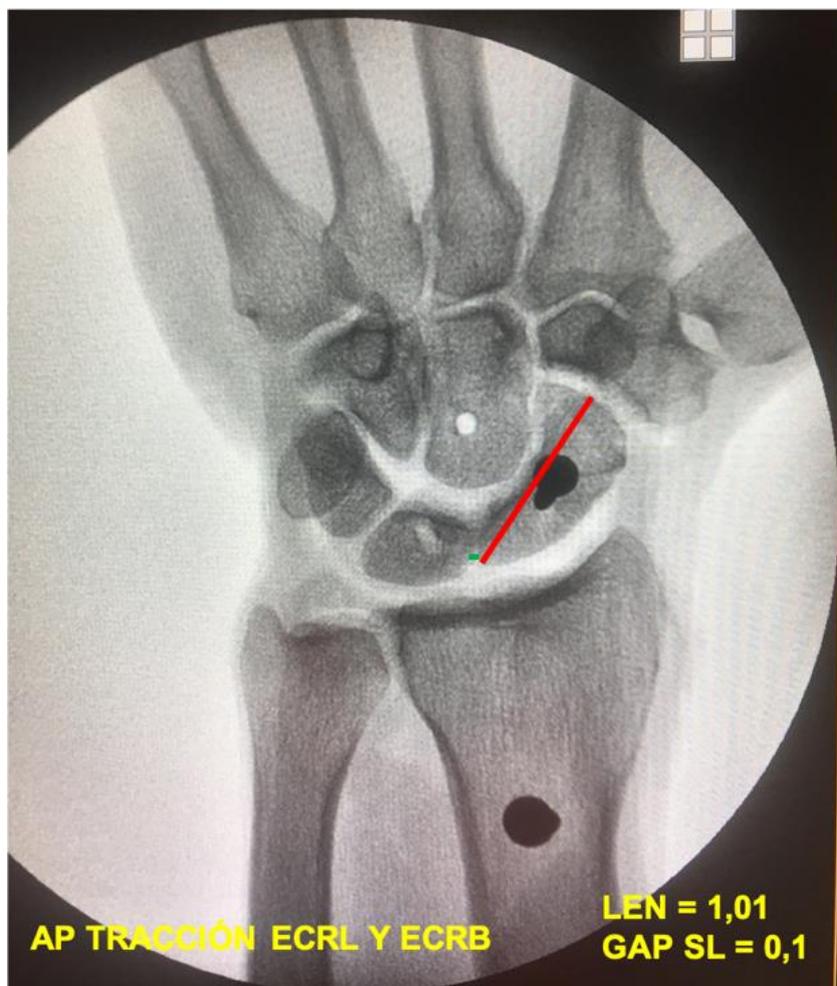


Fig. 114: Medición de LEN y GAPSLN en proyección AP bajo tracción del ECRL y ECRB en la mano n° 6 tras la realización del modelo de inestabilidad.

La tracción del tendón cubital anterior también indujo la flexión del escafoides, que fue mas marcada que la observada en máxima desviación radial pasiva y menos marcada que la observada bajo tracción del palmar mayor, observándose una longitud normalizada del escafoides de $0,90 \pm 0,16$ mm en promedio y un menor aumento del intervalo escafosemilunar hasta registrar $0,11 \pm 0,03$ mm en promedio. (Fig. 115)

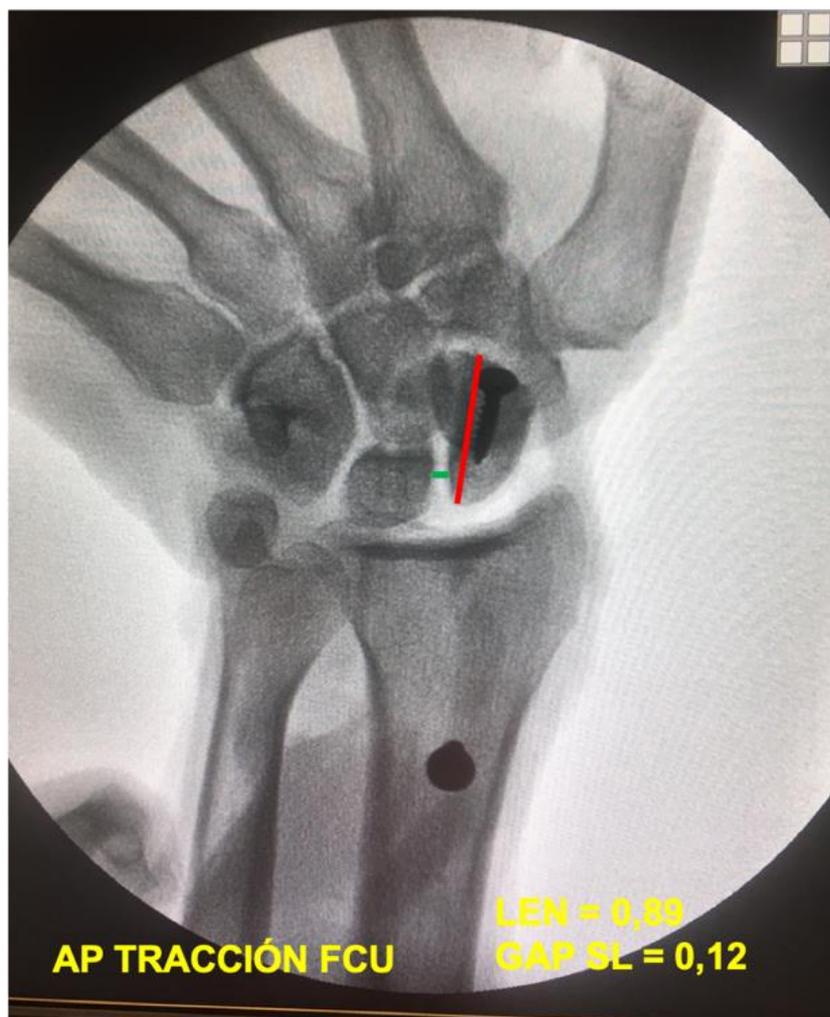


Fig. 115: Medición de LEN y GAPSLN en proyección AP bajo tracción del FCU en la mano nº 6 tras la realización del modelo de inestabilidad.

La flexión del escafoides aumentó todavía más bajo tracción del FCR, y la radioscopia mostró una disminución en la longitud normalizada del escafoides hasta registrar valores de $0,66 \pm 0,17$ mm, y un aumento del gap escafosemilunar normalizado hasta $0,17 \pm 0,11$ mm en promedio, por lo que en esta proyección se observó la mínima longitud del escafoides y el máximo intervalo escafosemilunar de la fase 2 del estudio; se

observó aún mejor el signo del anillo y se la aparición de una subluxación dorsorradial del escafoides en el radio distal.

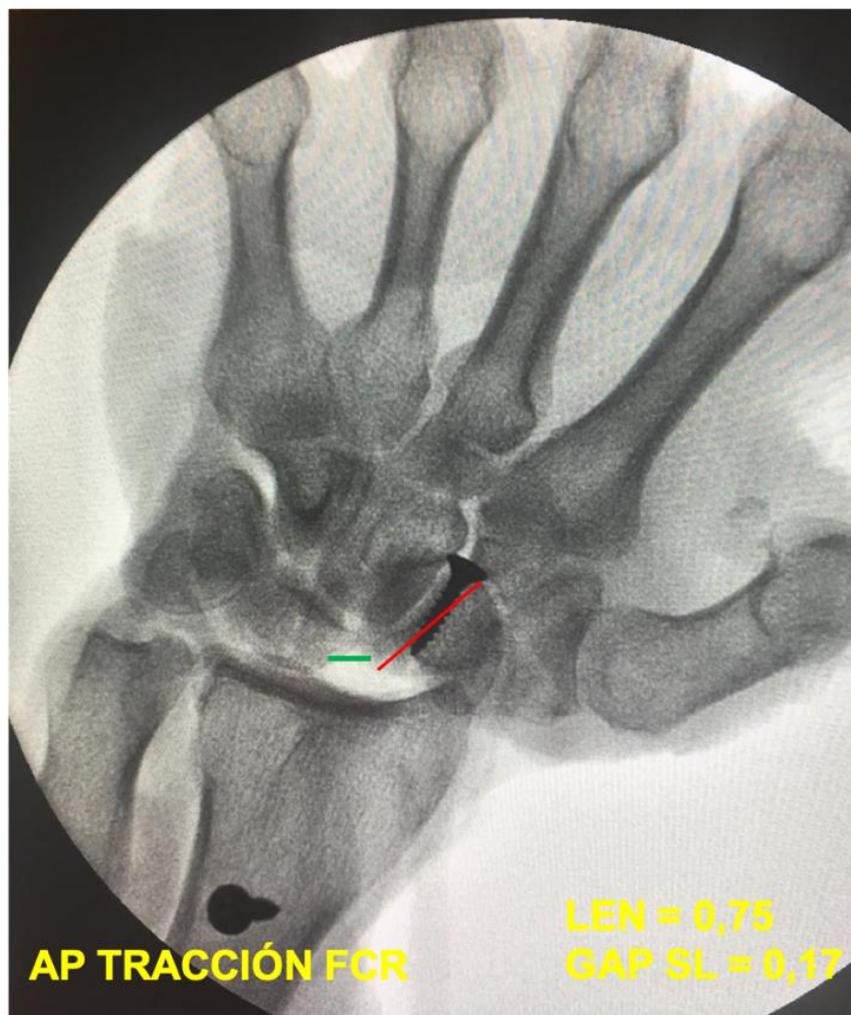


Fig. 116: Medición de LEN y GAPSLN en proyección AP bajo tracción del FCR en la mano nº 6 tras la realización del modelo de inestabilidad. Se observa como el polo proximal se superpone con la estiloides radial como signo indirecto de luxación radioescafoidea dorsal.

ii. Proyecciones laterales

Debido a la vulneración de los ligamentos estabilizadores primarios y secundarios al completar el modelo de inestabilidad, el ángulo escafosemilunar aumentó

considerablemente en todas las proyecciones laterales con respecto a los valores fisiológicos observables en una muñeca sana, usualmente entre 30° y 60° . Observamos cómo en proyección lateral neutra el ángulo aumentó hasta un promedio de $71,70 \pm 10,73^\circ$, valor que aumentó ostensiblemente más en la proyección lateral en flexión bajo tracción del tendón FCR situándose en promedio en $87,80 \pm 12,14^\circ$. En la proyección lateral en flexión aumentó respecto a la proyección neutra y respecto a la normalidad, pero algo menos, situándose en $81,81 \pm 15,94^\circ$. La única proyección en la que no rebasó los límites de la normalidad, situándose por debajo de 60° , fue en la proyección lateral en extensión $56,82 \pm 19,6^\circ$ (Fig. 117)

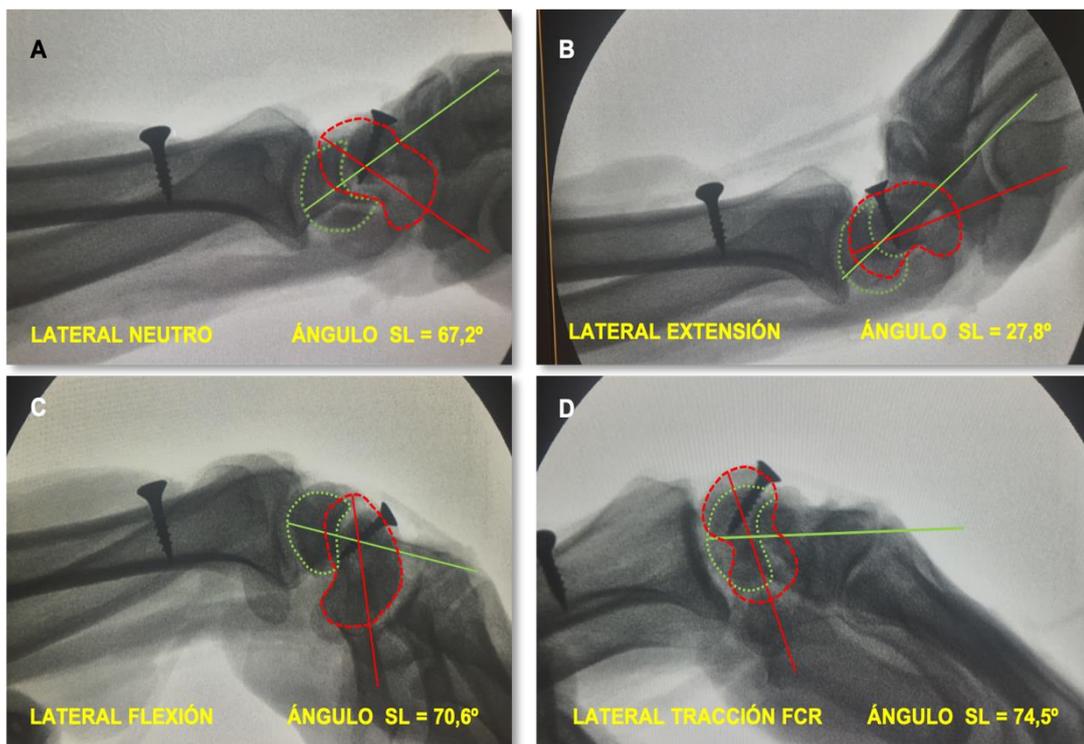


Fig. 117. Determinación del ángulo escafosemilunar en las proyecciones laterales en la mano nº 6 tras la realización del modelo de inestabilidad. A = Neutro. B = Extensión. C = Flexión. D = Flexión en tracción FCR.

El ángulo radiolunar determinado en proyección lateral neutra fue en promedio de $23,69 \pm 18,002^\circ$. Este valor aumentó hasta los $31,30 \pm 7,82^\circ$ medidos en extensión y se redujo en las proyecciones en flexión máxima sin tracción y bajo tracción del tendón FCR,

obteniendo valores promedio muy similares ($26,82^{\circ} \pm 6,47^{\circ}$ y $26,85^{\circ} \pm 11,11^{\circ}$ respectivamente). El ángulo radiolunar fisiológico es de $0-15^{\circ}$. Este aumento en el ángulo radiolunar observado se debe al anormal posicionamiento del semilunar en los movimientos de flexo extensión de la muñeca al estar lesionados sus estabilizadores cápsulo ligamentosos en la elaboración del modelo de inestabilidad.

La traslación dorsal del escafoides observada en proyección lateral con la muñeca en flexoextensión neutra fue de $0,45 \pm 0,12$ mm en promedio, valor que aumentó levemente en extensión las proyecciones en extensión máxima ($0,49 \pm 0,06$ mm), algo más en flexión máxima ($0,52 \pm 0,12$ mm) y aún más flexión máxima bajo tracción del tendón FCR ($0,58 \pm 0,10$ mm) lo cual se produce por la posición anómala que adopta el escafoides en flexión y verticalización, provocando el anormal desplazamiento de su polo proximal con los movimientos de flexoextensión de la muñeca, llegando incluso a subluxarse por encima de la cornisa dorsal del radio distal, por lo que indefectiblemente se desplaza su centro de rotación con respecto al centroide de la fosa sigmoidea del radio distal. (Fig. 118)

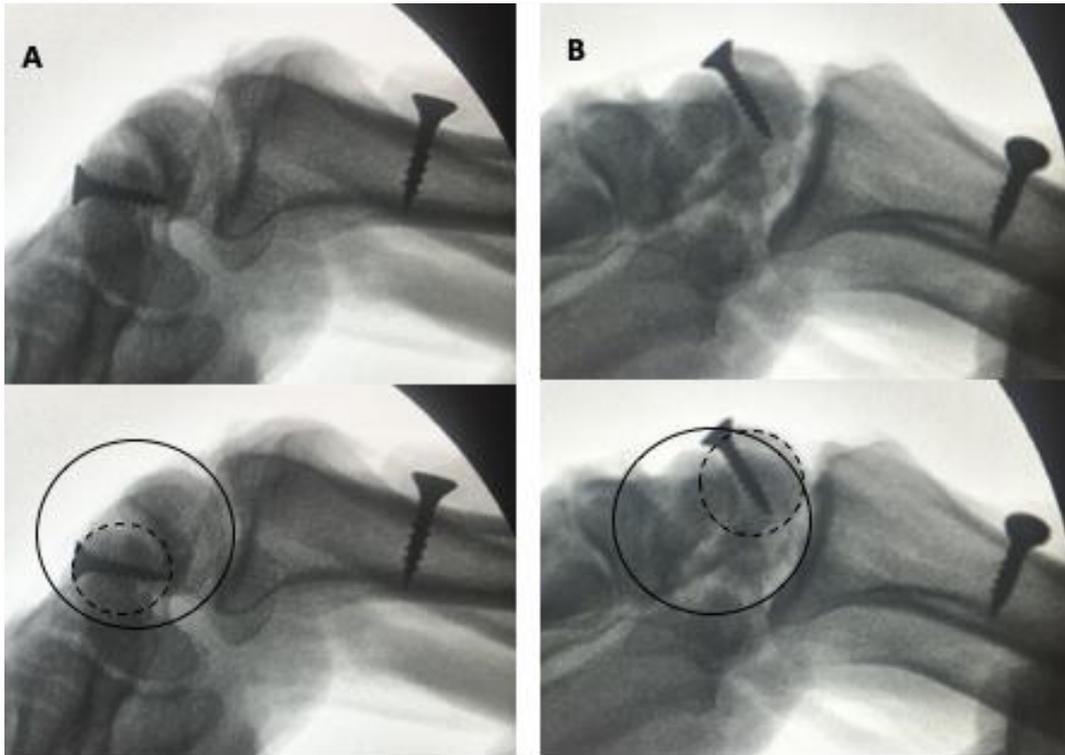


Fig. 118: Aplicación del método de Chan para calcular el DST en la mano n° 6 en flexión bajo tracción del tendón FCR. A: Fase A (Situación basal); B: Fase B (modelo de inestabilidad): Se observa subluxación dorsal del escafoides (DST). El círculo de línea continua indica la concavidad de la superficie de la articulación del radio y el círculo de línea punteada representa el polo proximal del escafoides para estimar la traslación dorsal del escafoides.

c) Estudio radiocinemático de los especímenes tras la realización de la osteotomía

Realizamos la osteotomía dorsal en flexión del radio distal y la determinación de las variables en las proyecciones según la misma secuencia que en las fases 1 y 2, y las marcamos como 3 para referir que se hicieron sobre los especímenes en los que se había realizado la osteotomía: APN3, APCP3, APRP3, APR3, APECU3, APFCU3, APFCR3, LN3, LE3, LF3 y LFCR3; al igual que en las otras fases, en cada espécimen tomamos todas las proyecciones y en cada proyección realizamos la medida de todas las variables. Los resultados fueron tabulados en formato Excel, indicando los valores obtenidos y los valores normalizados según la referencia de cada parámetro marcándolo con N.

i. Proyecciones anteroposteriores

VARIABLE	PROYECCIÓN											
	APN3				APCP3				APRP3			
	LE3	LEN3	GAPSL3	GAPSLN3	LE3	LEN3	GAPSL3	GAPSLN3	LE3	LEN3	GAPSL3	GAPSLN3
MANO												
1	2,18	0,74	0,12	0,05	3,22	1,35	0,17	0,07	2,34	0,8	0,08	0,02
2	1,77	0,69	0,14	0,05	2,56	0,94	0,11	0,04	1,89	0,79	0	0
3	2,39	0,77	0,14	0,05	2,98	1,3	0,26	0,08	2,01	0,81	0,11	0,04
4	2,36	0,76	0,25	0,06	2,78	1,1	0,3	0,09	2,41	0,79	0,29	0,11
5	2,26	0,8	0	0	3,37	1,22	0,21	0,07	2,22	0,83	0,14	0,05
6	2,49	0,89	0,08	0,07	3,18	1,17	0,23	0,11	2,62	0,81	0,17	0,06
7	2,76	0,96	0,24	0,07	3,52	1,35	0,27	0,1	2,58	0,92	0,18	0,06
8	3,2	0,94	0,2	0,07	3,4	1,09	0,3	0,09	3	0,78	0,2	0,05
9	3,6	1,16	0,3	0,09	3,2	1,1	0,25	0,08	2,4	1,2	0,31	0,06
10	2,21	0,91	0,15	0,06	2,7	0,75	0,4	0,17	2,7	1,12	0,5	0,15
11	3	1,3	0,23	0,08	2,8	0,24	0,23	0,05	3,4	1,09	0,21	0,04
12	2,25	0,71	0,1	0,04	2,35	1,02	0,15	0,07	1,7	0,73	0,1	0,04
13	2,7	0,87	0,12	0,05	2,4	0,88	0,3	0,06	2,6	1,08	0,1	0,04
14	2,51	0,78	0,21	0,07	2,64	1,2	0,26	0,08	2,49	0,79	0,21	0,07
15	2,52	0,77	0,24	0,06	2,61	1,2	0,28	0,08	2,46	0,73	0,15	0,06

Tabla 21: Valores obtenidos en la medición en milímetros de la Longitud del escafoides (LE3), Gap escafosemilunar (GAPSL3) y sus respectivos valores normalizados (LEN3 y GAPSLN3), en proyección Anteroposterior Neutra (APN3), Desviación Cubital Máxima (APCP3) y Desviación Radial Máxima (APRP3) en los especímenes tras la realización de la osteotomía (fase 3)

VARIABLE	PROYECCIÓN							
	APR3				APECU3			
	LE3	LEN3	GAPSL3	GAPSLN3	LE3	LEN3	GAPSL3	GAPSLN3
MANO								
1	2,83	1,06	0,1	0,05	3,24	1,12	0,16	0,07
2	2,62	0,82	0	0	2,63	1,06	0,23	0,09
3	2,47	0,91	0,11	0,06	3,1	1,2	0,36	0,07
4	2,5	0,82	0,32	0,06	3,1	1,01	0,29	0,11
5	2,57	0,97	0	0	2,87	0,97	0,18	0,06
6	2,56	0,93	0,11	0,03	3,35	1,21	0,29	0,13
7	2,42	0,79	0,21	0,07	2,55	0,99	0,25	0,07
8	2,6	0,81	0,2	0,08	3,4	1,05	0,32	0,09
9	3	1,13	0,2	0,06	4	1,17	0,2	0,05
10	1,8	0,75	0,59	0,16	2,81	1,09	0,2	0,07
11	3,2	1,14	0,27	0,08	3	1,07	0,45	0,06
12	2,39	0,94	0,08	0,07	2,2	1,17	0,11	0,05
13	2,45	1,39	0,18	0,1	2,96	1,02	0,35	0,09
14	2,61	0,81	0,19	0,09	2,72	0,89	0,29	0,1
15	2,56	0,83	0,16	0,08	2,69	0,92	0,29	0,09

Tabla 22: Valores obtenidos en la medición en milímetros de la Longitud del escafoides (LE3), Gap escafosemilunar (GAPSL3) y sus respectivos valores normalizados (LEN3 y GAPSLN3), en proyección Anteroposterior bajo tracción del tendón *extensor carpi ulnaris* (APECU3) y tendones *extensor carpi radialis longus* y *brevis* (APR3) en los especímenes tras la realización de la osteotomía (fase 3)

VARIABLE	PROYECCIÓN							
	APFCU3				APFCR3			
	LE3	LEN3	GAPSL3	GAPSLN3	LE3	LEN3	GAPSL3	GAPSLN3
MANO								
1	1,92	0,71	0,07	0,02	1,6	0,62	0,24	0,1
2	2,13	0,67	0,18	0,06	1,39	0,5	0,37	0,12
3	1,97	0,67	0	0	1,55	0,6	0,23	0,07
4	2,45	0,74	0,26	0,09	2,04	0,71	0,25	0,07
5	2,3	0,72	0	0	1,91	0,64	0,19	0,06
6	2,36	0,89	0,37	0,02	2	0,58	0,2	0,1
7	1,81	0,71	0,29	0,08	1,99	0,57	0,45	0,11
8	2,8	0,84	0,1	0,03	2,4	0,75	0,2	0,08
9	2,5	0,79	0,3	0,05	1,4	0,51	0,25	0,1
10	2,94	0,83	0,29	0,08	1,83	0,72	0,3	0,11
11	2,2	0,75	0,17	0,09	1,35	0,75	0,2	0,12
12	2,3	0,96	0,2	0,06	1	0,5	0,17	0,07
13	1,66	0,89	0,16	0,07	1,66	0,75	0,22	0,06
14	2,49	0,77	0,23	0,08	1,9	0,75	0,27	0,09
15	2,49	0,73	0,25	0,07	1,92	0,72	0,28	0,08

Tabla 23: Valores obtenidos en la medición en milímetros de la Longitud del escafoides (LE3), Gap escafosemilunar (GAPSL3) y sus respectivos valores normalizados (LEN3 y GAPSLN3), en proyección Anteroposterior bajo tracción del tendón *flexor carpi ulnaris* (APFCU3) y el tendón *flexor carpi radialis* (APFCR3) en los especímenes tras la realización de la osteotomía (fase 3)

ii. Proyecciones laterales

VARIABLE	PROYECCIÓN									
	LN3					LE3				
	AIPRD3	ASL3	LE3	DST3	ARL3	AIPRD3	ASL3	LE3	DST3	ARL3
MANO										
1	31,8	23,5	2,25	0,25	14,2	37,6	31,2	2,87	0,25	12,7
2	23,5	38,2	2,77	0,62	14,1	12,1	32,6	2,37	0,36	17,7
3	28,2	41,3	2,12	0,42	13,1	22,6	30,1	2,79	0,34	14,5
4	27,4	40,5	2,17	0,38	12,4	28,3	39,6	2,22	0,35	14,5
5	39,2	47,5	2,95	0,33	15,1	36,9	39,8	2,88	0,42	12,3
6	33,2	44,2	2,17	0,37	23,2	35,2	26,9	2,31	0,23	19,5
7	33,4	50,9	2,46	0,46	0	30,1	17,5	2,98	0,16	11,6
8	30,1	53,2	2,64	0,37	20,2	32,2	12,3	2,48	0,16	22,5
9	28,8	40,7	2,11	0,45	14,1	17,1	31,9	2,71	0,12	12,7
10	23,1	35,6	2,58	0,25	23,5	23,2	32,2	2,58	0,25	241
11	23,7	55,3	2,43	0,37	12,1	22,3	52,9	2,28	0,41	22,9
12	26,2	50,8	2,15	0,46	2,1	44,1	39,1	3,2,2	0,21	3,1
13	36,1	48,9	2,85	0,19	10,7	24,4	29,4	3,09	0,25	11,2
14	32,2	38,9	2,33	0,32	12,8	29,2	35,5	2,31	0,38	14,8
15	33,6	40,5	2,29	0,31	13,3	32,4	38,9	2,37	0,44	15,1

Tabla 24: Valores obtenidos en la medición del Ángulo de Inclinación Palmar del Radio Distal (AIPRD3), Ángulo Escafo-Semilunar (ASL3) y Ángulo Radio-Lunar (ARL3) expresadas en grados sexagesimales, y de la Longitud del Escafoides (LE3) y Traslación Dorsal del Escafoides (DST3) expresadas en milímetros en las proyecciones Lateral Neutra (LN3) y en Lateral en Extensión (LE3) en los especímenes tras la realización de la osteotomía (fase 3)

PROYECCIÓN										
	LF3					LFCR3				
VARIABLE	AIPRD3	ASL3	LE3	DST3	ARL3	AIPRD3	ASL3	LE3	DST3	ARL3
MANO										
1	42,1	49,6	2,25	0,31	14,1	44,5	40,5	2,66	0,24	26,9
2	24,8	50,5	2,14	0,32	13,4	24,9	49,2	2,66	0,41	12,2
3	19,9	50,1	3,13	0,42	12,1	31,5	51,1	2,87	0,36	11,3
4	28,4	44,2	2,76	0,24	14,4	29,1	46,1	3,04	0,38	13,9
5	38,3	41,7	3,26	0,21	22,3	35,3	43,4	3,29	0,22	33,4
6	35,1	50,3	2,81	0,29	31,2	39,2	53,4	2,99	0,17	20,9
7	33,5	42,8	2,53	0,25	20,7	44,5	50,7	2,87	0,32	19,8
8	34,7	51,8	2,84	0,4	17,3	30,1	47,6	3,02	0,31	11,5
9	25,7	50,1	2,66	0,26	20,3	26,7	51,9	3,14	0,25	21,3
10	37,2	42,2	2,21	0,09	10,7	24,2	47,1	2,21	0,05	12,1
11	23,6	45,6	2,04	0,33	13,2	25,1	48,8	2,72	0,33	19,2
12	40,7	43,7	2,6	0,31	22,3	44,6	48,8	2,71	0,25	26,4
13	30,7	42,3	2,57	0,42	16,1	45,1	48,9	2,25	0,31	28,1
14	29,7	46,8	2,52	0,22	13,4	31,6	51,8	2,91	0,21	13,1
15	33,5	49,7	2,66	0,31	14,4	31,2	40,3	2,97	0,36	14,3

Tabla 25: Valores obtenidos en la medición del Ángulo de Inclinación Palmar del Radio Distal (AIPRD3), Ángulo Escafo-Semilunar (ASL3) y Ángulo Radio-Lunar (ARL3) expresadas en grados sexagesimales, y de la Longitud del Escafoides (LE3) y Traslación Dorsal del Escafoides (DST3) expresadas en milímetros en las proyecciones Lateral en Flexión (LF3) y en Lateral en flexión bajo tracción del tendón FCR (LFCR3) en especímenes tras la realización de la osteotomía (fase 3)

iii. Valores medios

Los valores de las variables obtenidos tras la realización de la osteotomía en flexión del radio distal (fase 3) se han resumido en la tabla 26, donde se detalla rango como máximo y mínimo, media y desviación típica.

	ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS – FASE 3				
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP neutra con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,69	1,16	1,0217	0,17554
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP neutra con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,00	0,09	0,0583	0,02791
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP en desviación cubital pasiva con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,24	1,35	1,1100	0,13804
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP en desviación cubital pasiva con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,04	0,10	0,0742	0,03655
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP en desviación radial pasiva con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,73	1,20	0,9267	0,16013
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP en desviación radial pasiva con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,00	0,15	0,0467	0,02387
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción del cubital posterior con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,89	1,42	1,0827	0,07577
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del cubital posterior con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,05	0,11	0,0700	0,02544
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción de los radiales con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,73	1,2	0,9418	0,20361
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción de los radiales con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,00	0,16	0,0582	0,04579

Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción del cubital anterior con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,67	0,96	0,8992	0,16714
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del cubital anterior con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,00	0,09	0,0645	0,02374
Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP bajo tracción del palmar mayor con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,50	0,75	0,6155	0,09812
GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del palmar mayor con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,06	0,12	0,0655	0,03751
Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral neutra con osteotomía en flexión del radio distal	15	23,1	39,2	29,758	5,1896
Ángulo escafosemilunar en proyección lateral neutra con osteotomía en flexión del radio distal	15	23,5	55,3	50,575	14,5455
Ángulo radiolunar en proyección lateral neutra con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,0	23,5	11,908	9,3912
Longitud del escafoides en proyección lateral neutra con osteotomía en flexión del radio distal	15	1,77	2,95	2,3625	0,35258
Traslación dorsal del polo proximal del escafoides en proyección lateral neutra con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,19	0,62	0,3742	0,12236
Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral en extensión con osteotomía en flexión del radio distal	15	12,1	44,1	28,142	9,4055
Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en extensión con osteotomía en flexión del radio distal	15	17,5	52,9	33,150	12,4557
Ángulo radiolunar en proyección lateral en extensión con osteotomía en flexión del radio distal	15	3,1	22,9	15,733	9,8978
Longitud del escafoides en proyección lateral en extensión con osteotomía en flexión del radio distal	15	2,28	3,20	2,7108	,30876
Traslación dorsal del polo proximal del escafoides en proyección lateral en extensión con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,12	0,44	0,2775	0,12621
Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral en flexión con osteotomía en flexión del radio distal	15	19,9	42,1	32,192	7,2195

Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en flexión con osteotomía en flexión del radio distal	15	41,7	51,8	45,708	11,4093
Ángulo radiolunar en proyección lateral en flexión con osteotomía en flexión del radio distal	15	10,7	31,2	20,733	18,6938
Longitud del escafoides en proyección lateral en flexión con osteotomía en flexión del radio distal	15	2,04	3,26	2,5858	0,38529
Traslación dorsal del polo proximal del escafoides en proyección lateral en flexión con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,09	0,42	0,2917	0,10845
Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor con osteotomía en flexión del radio distal	15	24,2	45,1	34,642	8,5953
Ángulo escafosemilunar en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor con osteotomía en flexión del radio distal	15	40,3	52,3	48,733	11,6583
Ángulo radiolunar en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor con osteotomía en flexión del radio distal	15	11,3	33,4	24,800	13,4944
Longitud del escafoides en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor con osteotomía en flexión del radio distal	15	1,87	3,29	2,6125	0,44902
Traslación dorsal del polo proximal del escafoides en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor con osteotomía en flexión del radio distal	15	0,05	0,41	0,2792	0,10300

Tabla 26: Valores medios de los estadísticos descriptivos en la fase 3 (osteotomía)

iv. Comportamiento del carpo con la osteotomía

Tras la realización de la osteotomía comprobamos cómo mejoraba la congruencia escafosemilunar, la alineación de la primera hilera del carpo y cómo se reducía la subluxación dorsorradial del escafoides (Fig. 119):

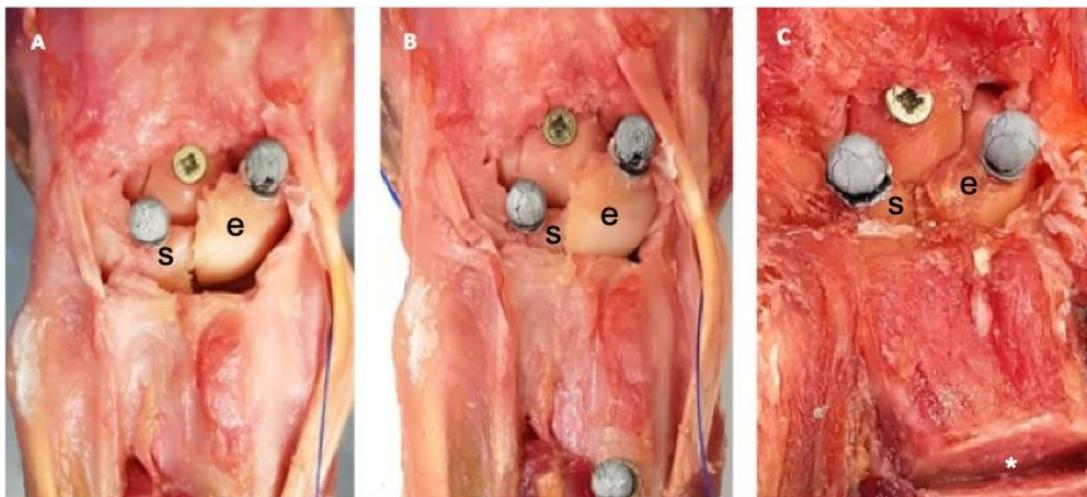


Fig. 119: Efecto de la osteotomía en flexión del radio distal (*) sobre la alineación del carpo en la mano nº 6. **A:** lesión aislada del ligamento escafosemilunar (SLIL). **B:** Modelo completo de inestabilidad escafosemilunar (división de SLIL + estabilizadores secundarios). **C:** Efecto de la osteotomía en flexión del radio distal sobre la articulación escafosemilunar. Se observa mejoría de la congruencia escafosemilunar y el efecto de contención sobre la articulación radiocarpiana, mejorando la subluxación dorsorradial del escafoides. **e:** Escafoides; **s:** Semilunar.

i. Proyecciones anteroposteriores:

Podemos observar cómo el valor promedio de la longitud normalizada del escafoides en proyección anteroposterior neutra se sitúa en $1,02 \pm 0,17$ mm, y al igual que ocurría en el análisis radiológico en situación basal y tras la realización del modelo de inestabilidad, los máximos valores que registra corresponden a los obtenidos en máxima desviación cubital pasiva ($1,11 \pm 0,13$ mm) y bajo tracción del tendón ECU ($1,08 \pm 0,07$ mm) (Fig 120).

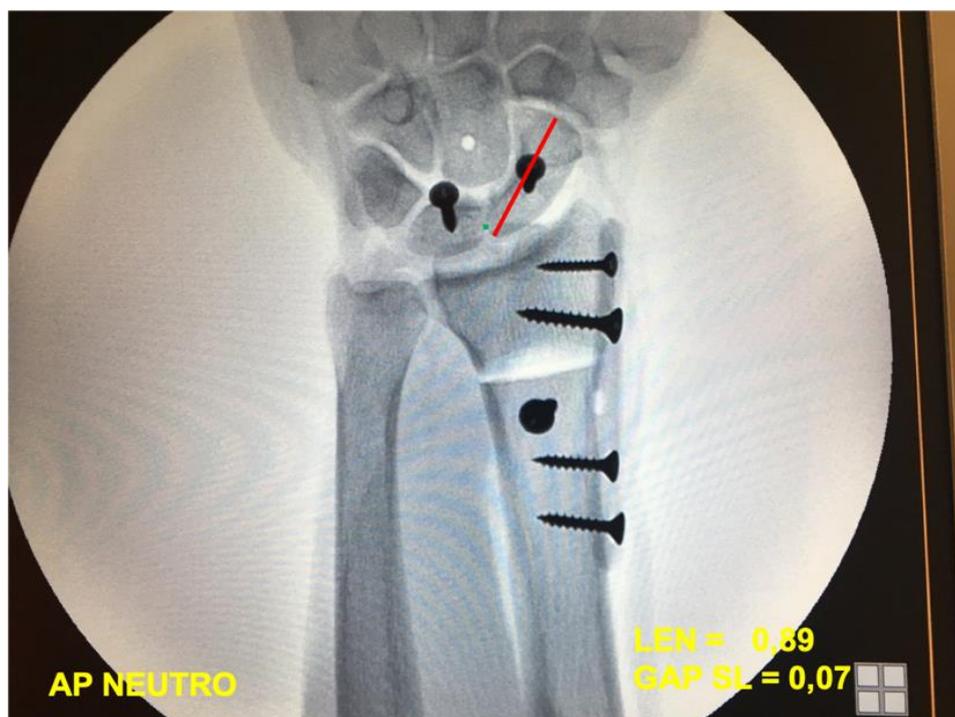


Fig. 120: Medición de LEN y GAPSLN en proyección AP neutra en la mano nº 6 tras la realización de la osteotomía.

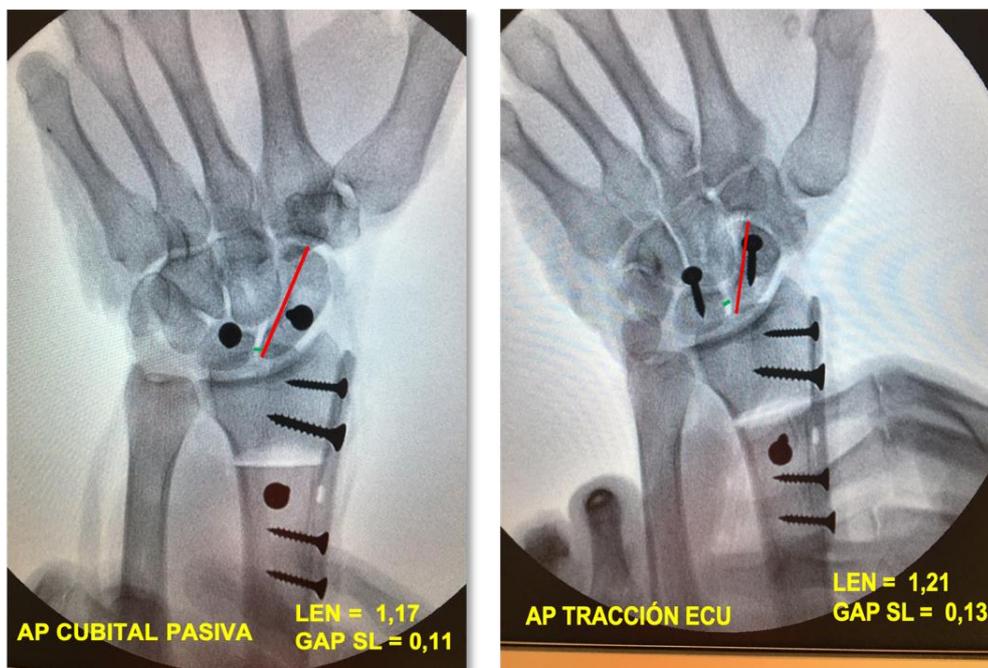


Fig. 121: Medición de LEN y GAPSLN en proyección AP en desviación cubital pasiva y bajo tracción del ECU en la mano nº 6 tras la realización de la osteotomía.

De la misma forma, como ocurría en los pasos anteriores, los valores observados en desviación radial pasiva eran bastante más bajos ($0,92 \pm 0,16$ mm), como igualmente bajos fueron los registrados bajo tracción de los tendones ECRL y ERCB ($0,94 \pm 0,20$ mm) y bajo tracción del tendón FCU ($0,89 \pm 0,16$ mm). Los valores promedio mínimos observados se produjeron bajo tracción del tendón FCR ($0,61 \pm 0,09$ mm) (Fig. 122):

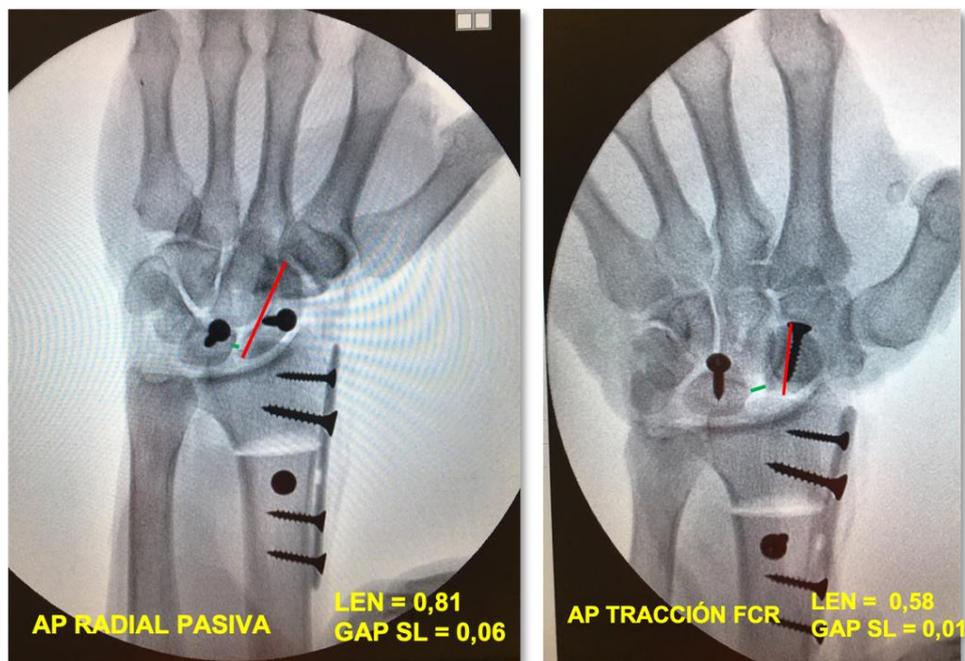


Fig. 122: Medición de LEN y GAPSLN en proyección AP en desviación radial pasiva y bajo tracción del FCR en la mano nº 6 tras la realización de la osteotomía. Aumenta el gap, pero no se produce la luxación radioescafoidea que habíamos observado en el modelo de inestabilidad.

El gap escafosemilunar normalizado observado en proyección anteroposterior neutra tras la realización de la osteotomía fue de $0,05 \pm 0,02$ mm en promedio, cifra que se aproximadamente se mantuvo en las distintas posiciones de la muñeca con el efecto restrictivo de la osteotomía y la mejoría en la alineación del carpo. Aumentó levemente en desviación cubital pasiva ($0,07 \pm 0,03$ mm) y bajo tracción del ECU ($0,07 \pm 0,03$ mm) y

se redujo en máxima desviación radial pasiva ($0,04 \pm 0,02$ mm) y bajo tracción de los tendones extensores radiales ($0,05 \pm 0,04$ mm). En las proyecciones en flexión se obtuvo un resultado muy parecido, $0,06 \pm 0,02$ mm bajo tracción FCU y $0,06 \pm 0,03$ mm bajo tracción FCR.

El efecto de contención de la osteotomía sobre la articulación radiocarpiana se puso de manifiesto al observar una mejoría en la congruencia escafosemilunar, una corrección en la subluxación dorsorradial del escafoides y una alineación de la primera hilera del carpo hasta una situación muy similar a la observada al inicio del estudio (Fig 123):

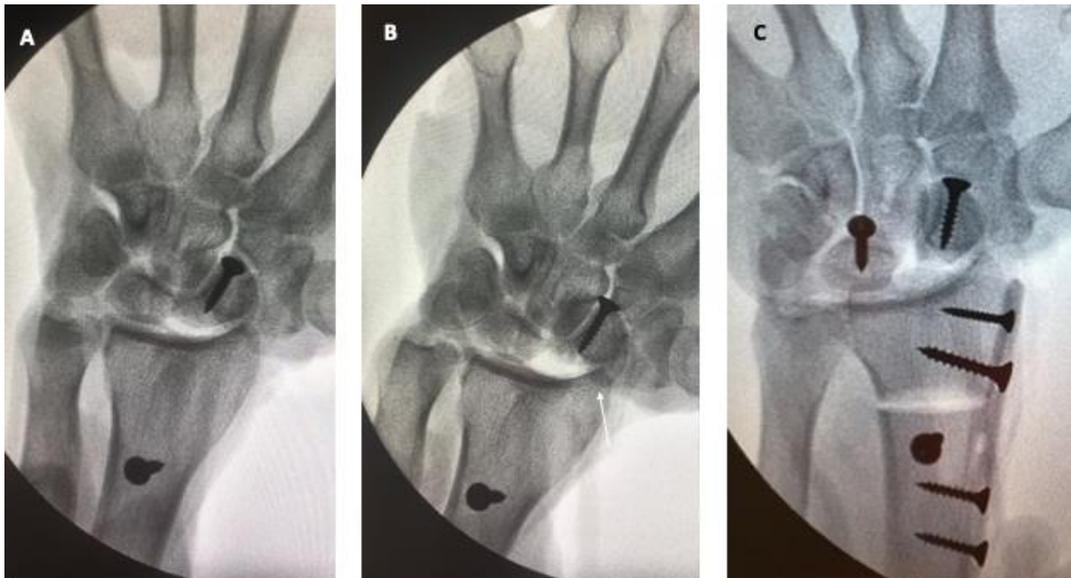


Fig. 123: Comportamiento radiográfico del carpo en proyección AP en tracción del tendón FCR en la mano n°6. **A:** Fase A - situación basal; **B:** Fase B - Modelo de inestabilidad. La superposición del contorno del escafoides en el radio se observa como un signo indirecto de luxación del radioescafoides (flecha blanca). **C:** Fase C – Tras la realización de la osteotomía en flexión del radio distal. El signo del anillo es evidente, pero no se observa luxación radioescafoidea.

ii. Proyecciones laterales

En las proyecciones laterales observamos cómo el ángulo de inclinación palmar del radio distal aumentó aproximadamente 15-20° respecto a la inclinación fisiológica de una muñeca sana, que se sitúa en torno a los 10° de flexión. Este aumento de angulación estuvo determinado por la angulación que aportó la osteotomía sumada a la flexión fisiológica del radio distal (Fig. 124)

El ángulo escafosemilunar promedio registrado en todas las proyecciones laterales estuvo siempre dentro del rango fisiológico de este ángulo en una muñeca sana, encontrándose siempre entre 30 y 60°. Esto se debe al efecto corrector de la osteotomía en la alineación del escafoides, en posición más horizontalizada, y a la mejora de la congruencia articular del escafoides y el semilunar en los movimientos de la muñeca (Fig. 124)

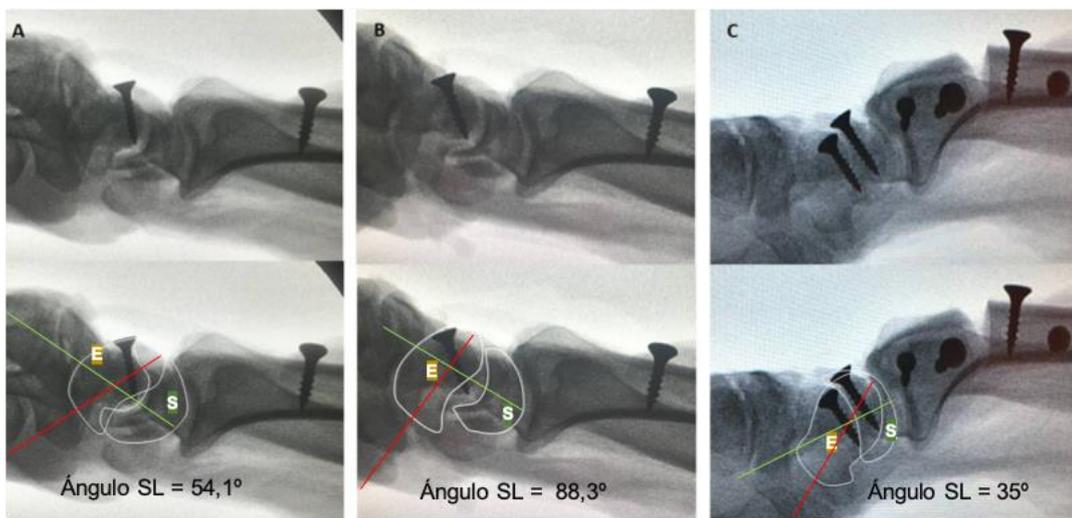


Fig 124: Comportamiento radiográfico del carpo en proyección lateral en la mano n°6: **A:** Fase A - situación basal; **B:** Fase B - Modelo de inestabilidad. Se puede observar incongruencia y aumento en el ángulo escafosemilunar. **C:** Fase C – Tras la realización de la osteotomía en flexión del radio distal. El escafoides y el semilunar han vuelto a tener una relación normal, y el ángulo escafosemilunar se ha normalizado. **E:** Escafoides. **S:** Semilunar

El ángulo escafosemilunar observado en proyección lateral con la muñeca en flexoextensión neutra fue de $50,57 \pm 14,54^\circ$, reduciéndose ostensiblemente hasta situarse en promedio en $33,15^\circ \pm 12,45^\circ$ al colocar la muñeca en extensión pasiva máxima, y reduciéndose también, aunque de forma menos marcada en máxima flexión pasiva ($45,70 \pm 11,40^\circ$) y en flexión bajo tracción del tendón FCR ($48,73 \pm 11,65^\circ$) (Fig. 125)

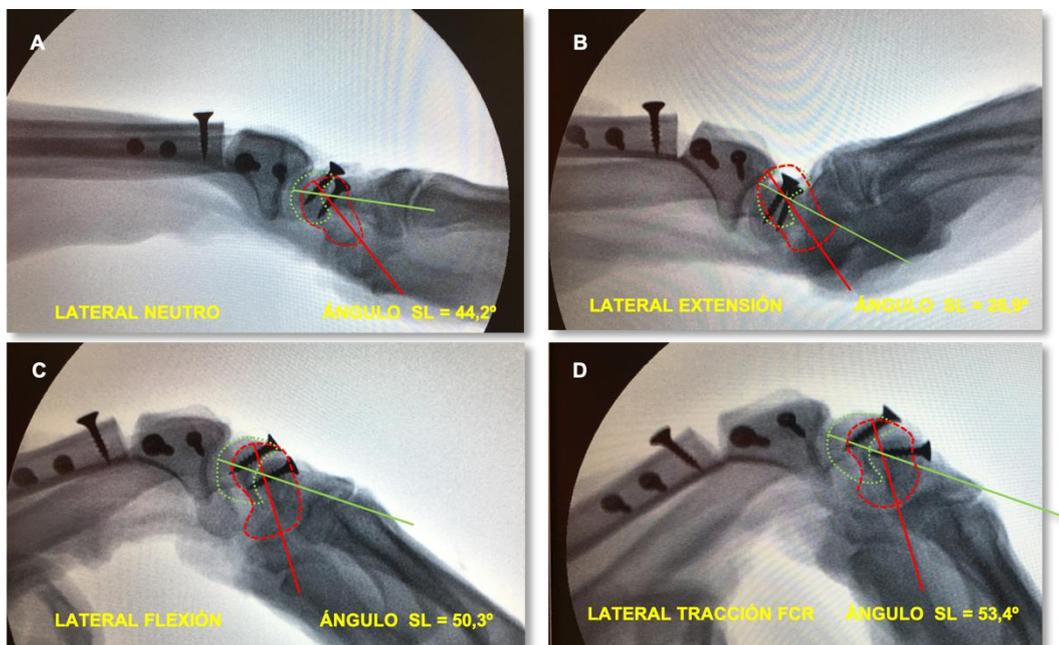


Fig. 125. Determinación del ángulo escafosemilunar en las proyecciones laterales en la mano nº 6 tras la realización del modelo de la osteotomía. A = Neutro; B = Extensión.; C = Flexión; D = Flexión en tracción FCR.

El ángulo radiolunar determinado en proyección lateral neutra fue en promedio de $11,90 \pm 9,39^\circ$. Este valor fluctuó con los movimientos de flexo-extensión de la muñeca, aumentando hasta los $15,73 \pm 9,89^\circ$ medidos en promedio en extensión, y aumentando también en las proyecciones en flexión máxima sin tracción, hasta los $20,73^\circ \pm 18,6^\circ$ y algo más aún bajo tracción del tendón FCR, hasta los $24,80 \pm 13,49^\circ$. En cualquier caso, en el rango de movilidad desde neutro hasta extensión máxima pasiva el ángulo registrado en

promedio se sitúa entre 0-15°, lo que quiere decir que se encuentra dentro del valor fisiológico; y los valores registrados en flexión pasiva y bajo tracción del tendón FCR están por debajo de los observados en el modelo de inestabilidad, por lo que el efecto de corrección de la osteotomía también se manifiesta en los valores registrados en flexión.

La traslación dorsal del escafoides promedia observada en proyección lateral con la muñeca en flexoextensión neutra fue de $0,37 \pm 0,12$ mm, valor que se redujo en las proyecciones en máxima extensión pasiva situándose en $0,27 \pm 0,12$ mm, y sin embargo en máxima flexión pasiva y bajo tracción del tendón FCR se mantuvo, obteniéndose valores muy similares ($0,29 + 0,10$ mm y $0,27 + 0,10$ mm respectivamente). La subluxación dorsorradial del escafoides sobre el radio distal mejoró tras la realización de la osteotomía hasta obtener valores muy similares a la situación basal, como se puede observar en la fig. 126:

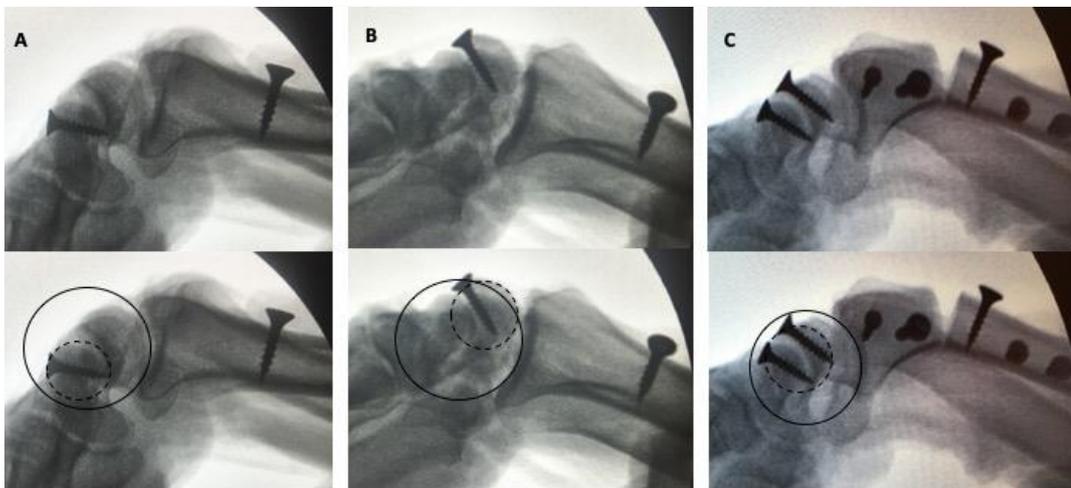


Fig. 126: Aplicación del método de Chan para calcular el DST en la mano n°6 en proyección lateral bajo tracción FCR. **A:** Fase A - situación basal; **B:** Fase B - Modelo de inestabilidad. Se puede observar una subluxación dorsal del polo proximal del escafoides sobre el radio. **C:** Fase C – Tras la realización de la osteotomía en flexión del radio distal: Se corrige la subluxación del escafoides y los círculos vuelven a ser concéntricos. El círculo de línea continua indica la concavidad de la superficie de la articulación del radio, y el círculo de línea punteada representa el polo proximal del escafoides.

d) Análisis comparativo

Una vez concluido el análisis descriptivo realizamos un estudio bivariante con el objetivo de comparar los resultados en las tres fases del trabajo experimental:

- A. Situación basal vs. Modelo de inestabilidad
- B. Modelo de inestabilidad vs. Osteotomía
- C. Situación basal vs. Osteotomía

A. ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LOS ESPECÍMENES EN SITUACIÓN BASAL Y TRAS LA REALIZACIÓN DEL MODELO DE INESTABILIDAD (Fase 1 vs. Fase 2)

i. Proyecciones anteroposteriores

En la tabla 27 se muestran los resultados de las variables estudiadas en proyecciones AP en las fases 1 y 2:

FASE	Variable	APN	APRP	APCP	APR	APECU	APFCU	APFCR
1	Longitud Escafoides	0,88 ± 0,13	0,85 ± 0,24	1,20 ± 0,18	0,98 ± 0,15	1,12 ± 0,22	0,90 ± 0,20	0,68 ± 0,10
	GAP SL	0,08 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,04	0,07 ± 0,02	0,09 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,09 ± 0,03
2	Longitud Escafoides	0,89 ± 0,11	0,80 ± 0,19	1,17 ± 0,15	0,94 ± 0,19	1,17 ± 0,29	0,90 ± 0,16	0,66 ± 0,17
	GAP SL	0,10 ± 0,07	0,11 ± 0,07	0,13 ± 0,05	0,10 ± 0,05	0,15 ± 0,10	0,11 ± 0,03	0,17 ± 0,11

Tabla 27. Medias de las medidas normalizadas ± desviación estándar (mm) en proyección anteroposterior (AP). APN: proyección AP en posición neutra; APRP: proyección AP en desviación radial; APCP: proyección AP en desviación cubital; APR: proyección AP en tracción de los tendones *extensor carpi radialis longus y brevis*; APECU: proyección AP en tracción del tendón *extensor carpi ulnaris*; APFCU: proyección AP en tracción del tendón *flexor carpi ulnaris*; APFCR: proyección AP en tracción del tendón *flexor carpi radialis*; FASES: 1: situación basal. 2: modelo de inestabilidad.

La evaluación de las diferencias observadas entre las mediciones en situación basal y tras la realización del modelo de inestabilidad se realizó mediante la aplicación del test de Wilcoxon con los siguientes resultados (tabla 28):

TEST DE WILCOXON - FASE 1 vs. FASE 2 (AP)								
	Variable	APN	APRP	APCP	APR	APECU	APFCU	APFCR
Valor p	Longitud escafoides	0.553	0.310	0.028	0.917	0.917	0.279	0.449
	GAP SL	0.173	0.125	0.043	0.528	0.066	0.026	0.018

Tabla 28. Tabla resumen del valor de p mediante la prueba de Wilcoxon para la comparativa de las diferencias en la longitud del escafoides y el intervalo escafosemilunar en proyección anteroposterior (AP) entre la fase 1 (situación basal) y después de realizar el modelo de inestabilidad (fase 2). APN: proyección AP en posición neutra de la muñeca; APRP: proyección AP en desviación radial; APCP: proyección AP en desviación cubital; APR: proyección AP en tracción de los tendones *extensor carpi radialis longus y brevis*; APECU: proyección AP en tracción del tendón cubital posterior; APFCU: proyección AP en tracción del tendón del *extensor carpi ulnaris*; APFCR: proyección AP en tracción del tendón *flexor carpi radialis*. Cuadros sombreados: azul = diferencia estadísticamente significativa. Verde: significación marginal.

Las diferencias estadísticamente significativas se encontraron en las siguientes variables:

- Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP en desviación cubital pasiva: situación basal = $1,2029 \pm 0,18319$ mm; modelo de inestabilidad = $1,1746 \pm 0,15295$ mm p = 0,028.
- GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP en desviación cubital pasiva: situación basal = $0,0900 \pm 0,04397$ mm; modelo de inestabilidad = $0,1392 \pm 0,05408$ mm. p = 0,043.
- GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del tendón *flexor carpi ulnaris*: situación basal = $0,0813 \pm 0,02936$ mm; modelo de inestabilidad = $0,1192 \pm 0,03475$ mm., p = 0,026.

- GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del *flexor carpi radialis*: situación basal = $0,0924 \pm 0,03976$ mm; modelo de inestabilidad = $0,1731 \pm 0,11302$ mm. $p = 0,018$.
- Significación marginal: GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del tendón *extensor carpi ulnaris*: situación basal: $0,09 \pm 0,03$ mm; modelo de inestabilidad = $0,15 \pm 0,10$ mm; $p = 0,066$.

ii. Proyecciones laterales

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las variables estudiadas en proyección lateral en las fases 1 y 2:

FASE	Variable	LN	LE	LF	LFCR
1	Ángulo Inclinación Palmar	9.95 ± 3.92	13.15 ± 4.45	13.92 ± 3.22	17.72 ± 6.63
	Ángulo SL	48.47 ± 7.96	42.48 ± 17.47	59.35 ± 12.37	63.40 ± 20.66
	Ángulo RL	15.22 ± 9.01	26.44 ± 10.01	14.85 ± 8.98	21.46 ± 5.54
	DST	2.38 ± 1.36	1.98 ± 2.45	2.21 ± 1.94	1.55 ± 1.15
2	Ángulo Inclinación Palmar	14.18 ± 5.85	14.85 ± 4.63	15.65 ± 7.33	15.16 ± 4.54
	Ángulo SL	71.70 ± 10.73	56.82 ± 19.63	81.81 ± 15.94	87.80 ± 12.14
	Ángulo RL	23.69 ± 18	31.3 ± 7.82	26.82 ± 6.47	26.85 ± 11.11
	DST	2.11 ± 2.35	3.24 ± 2.53	2.37 ± 2.55	3.81 ± 1.39

Tabla 29. Medidas de las medias (mm y grados sexagesimales) con desviaciones estándar en proyección lateral (L). LN: Proyección L en posición neutra de la muñeca; LE: Proyección L en extensión; LF: Proyección L en flexión; LFCR: Proyección L en tracción del tendón *Flexor Carpi Radialis*; FASES: 1: situación basal; 2: modelo de inestabilidad. DST = Traslación dorsal del escafoides.

La evaluación de las diferencias observadas entre las mediciones en situación basal y tras la realización del modelo de inestabilidad se realizó mediante la aplicación del test de Wilcoxon. Los resultados se recogieron en la tabla 30:

TEST DE WILCOXON – FASE 1 vs. FASE 2 (L)					
	Variable	LN	LE	LF	LFCR
Valor p	Ángulo Inclinación Palmar	0.063	0.463	1	0.225
	Ángulo SL	0.018	0.018	0.018	0.018
	Ángulo RL	0.091	0.398	0.046	0.225
	DST	0.465	0.463	0.893	0.028

Tabla 30. Tabla resumen del valor de p mediante la prueba de Wilcoxon para las diferencias en la inclinación palmar, el ángulo escafosemilunar, el ángulo radiolunar y la traslación dorsal del escafoides (DST) en la proyección lateral (L) entre la fase 1 (situación basal) y la fase 2 (modelo de inestabilidad); LN: Proyección L en posición neutra de la muñeca; LE: Proyección en L en extensión; LF: Proyección L en flexión; LFCR: Proyección L en tracción del tendón *Flexor Carpi Radialis*; DST: Traslación dorsal del escafoides. Cuadros sombreados: azul = diferencia estadísticamente significativa. Verde: significación marginal.

Las diferencias estadísticamente significativas se observan en las siguientes variables:

- Ángulo escafosemilunar en proyección lateral neutra: situación basal = $48,47 \pm 7,96^\circ$ vs. modelo de inestabilidad = $71,7 \pm 10,73^\circ$; $p = 0,018$.
- Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en extensión: situación basal = $42,486 \pm 17,47^\circ$ vs. modelo de inestabilidad = $56,82 \pm 19,63^\circ$; $p = 0,018$.

- Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en flexión: situación basal = $59,357 \pm 12,37^\circ$ vs. modelo de inestabilidad = $81,81 \pm 15,94^\circ$; $p = 0,018$.
- Ángulo escafosemilunar en proyección lateral bajo tracción FCR: situación basal = $63,40 \pm 20,66^\circ$ vs. modelo de inestabilidad = $87,80 \pm 12,14^\circ$; $p_{\text{valor}} = 0,018$.
- Ángulo radiolunar en proyección lateral en flexión: situación basal = $14,85 \pm 8,9859^\circ$ vs. modelo de inestabilidad = $26,82 \pm 6,47^\circ$; $p = 0,046$.
- Traslación dorsal del escafoides en proyección lateral bajo tracción FCR: Situación basal = $1,55 \pm 1,15$ mm vs. modelo de inestabilidad = $3,81 \pm 1,39$ mm; $p = 0,028$.

B. ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LOS ESPECÍMENES TRAS LA REALIZACIÓN DEL MODELO DE INESTABILIDAD Y TRAS LA REALIZACIÓN DE LA OSTEOTOMÍA (Fase 2 vs. Fase 3)

i. Proyecciones anteroposteriores

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las variables estudiadas en las proyecciones anteroposteriores en las fases 2 y 3:

FASE	Variable	APN	APRP	APCP	APR	APECU	APFCU	APFCR
2	Longitud Escafoides	0,89 + 0,11	0,80 + 0,19	1,17 + 0,15	0,94 + 0,19	1,17 + 0,29	0,90 + 0,16	0,66 + 0,17
	GAP SL	0,10 + 0,07	0,11 + 0,07	0,13 + 0,05	0,10 + 0,05	0,15 + 0,10	0,11 + 0,03	0,17 + 0,11
3	Longitud Escafoides	1,02 + 0,17	0,92 + 0,16	1,11 + 0,13	0,94 + 0,20	1,08 + 0,07	0,89 + 0,16	0,61 + 0,09
	GAP SL	0,05 + 0,02	0,04 + 0,02	0,07 + 0,03	0,05 + 0,04	0,7 + 0,02	0,06 + 0,02	0,06 + 0,03

Tabla 31. Medias de las medidas (mm) + desviación estándar en visión anteroposterior (AP). APN: proyección AP en posición neutra de la muñeca; APRP: proyección AP en desviación radial; APCP: proyección AP en desviación cubital; APR: proyección AP en tracción de los tendones *extensor carpi radialis longus y brevis*; APECU: proyección AP en tracción del tendón *extensor carpi ulnaris*;

APFCU: proyección AP en tracción del tendón *flexor carpi ulnaris*; APFCR: proyección AP en tracción del tendón *flexor carpi radialis*; FASES: 2: modelo de inestabilidad; 3: osteotomía.

La evaluación de las diferencias observadas entre las mediciones en recogidas tras la realización del modelo de inestabilidad y tras la realización de la osteotomía se hizo mediante la aplicación del test de Wilcoxon con los siguientes resultados:

TEST DE WILCOXON - FASE 2 vs. FASE 3 (AP)								
	Variable	APN	APRP	APCP	APR	APECU	APFCU	APFCR
Valor p	Longitud escafoides	0.055	0.131	0.937	0.755	0.594	0.754	0.154
	GAP SL	0.024	0.004	0.003	0.003	0.005	0.004	0.04

Tabla 32. Tabla resumen del valor de p mediante la prueba de Wilcoxon para la comparativa de las diferencias en la longitud del escafoides y el intervalo escafosemilunar en vista anteroposterior (AP) entre la fase 2 (modelo de inestabilidad) y después de realizar la osteotomía (fase 3). APN: proyección AP en posición neutra de la muñeca; APRP: proyección AP en desviación radial; APCP: proyección AP en desviación cubital; APR: proyección AP en tracción de los tendones *extensor carpi radialis longus* y *brevis*; APECU: proyección AP en tracción del tendón cubital posterior; APFCU: proyección AP en tracción del tendón del *extensor carpi ulnaris*; APFCR: proyección AP en tracción del tendón *flexor carpi radialis*. Cuadro sombreado azul = diferencia estadísticamente significativa.

En las tablas 31 y 32 se puede comprobar que existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de algunas de las variables entre el modelo de inestabilidad y tras la realización de la osteotomía. En concreto, las diferencias se encuentran en estas variables:

- GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP neutra: en modelo de inestabilidad = $0,1015 \pm 0,07081$ mm; tras la realización de la osteotomía = $0,0583 \pm 0,02791$ mm; $p = 0,024$.
- GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP en desviación cubital pasiva: en modelo de inestabilidad = $0,1392 \pm 0,05408$ mm; tras la realización de la osteotomía = $0,0742 \pm 0,03655$ mm; $p = 0,003$.
- GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP en desviación radial pasiva: en modelo de inestabilidad = $0,1185 \pm 0,006362$ mm; tras la realización de la osteotomía = $0,0467 \pm 0,02387$ mm; $p = 0,004$.
- GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del tendón *extensor carpi ulnaris*: en modelo de inestabilidad = $0,15 \pm 0,10686$ mm; tras la realización de la osteotomía = $0,7 \pm 0,02544$ mm; $p = 0,005$.
- GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción de los tendones *extensor carpi radialis longus y brevis*: en modelo de inestabilidad = $0,1083 \pm 0,05589$ mm; tras la realización de la osteotomía = $0,0582 \pm 0,04579$ mm; $p = 0,003$.
- GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del tendón *flexor carpi ulnaris*: en modelo de inestabilidad = $0,1192 \pm 0,03475$ mm; tras la realización de la osteotomía = $0,0645 \pm 0,02374$ mm; $p = 0,004$.
- GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*: en modelo de inestabilidad = $0,1731 \pm 0,11302$ mm; tras la realización de la osteotomía = $0,0655 \pm 0,03751$; $p = 0,004$

ii. Proyecciones laterales

En la tabla 33 se muestran los resultados detallados de todas las variables estudiadas en proyección lateral evaluando las diferencias entre las mediciones realizadas tras la realización del modelo de inestabilidad y tras la realización de la osteotomía.

FASE	Variable	LN	LE	LF	LFCR
2	Ángulo Inclinación Palmar	14.18 ± 5.85	14.85 ± 4.63	15.65 ± 7.33	15.16 ± 4.54
	Ángulo Escafosemilunar	71.70 ± 10.73	56.82 ± 19.63	81.81 ± 15.94	87.80 ± 12.14
	Ángulo Radiolunar	23.69 ± 18	31.3 ± 7.82	26.82 ± 6.47	26.85 ± 11.11
	DST	2.11 ± 2.35	3.24 ± 2.53	2.37 ± 2.55	3.81 ± 1.39
3	Ángulo Inclinación Palmar	29.75 ± 5.18	28.14 ± 9.41	32.19 ± 7.21	34.64 ± 8.59
	Ángulo Escafosemilunar	50.75 ± 14.54	33.15 ± 12.45	59.71 ± 11.41	68.73 ± 19.65
	Ángulo Radiolunar	11.91 ± 9.39	15.73 ± 9.89	30.73 ± 18.69	24.80 ± 13.49
	DST	0.45 ± 0.94	0.49 ± 0.83	1.24 ± 2.07	0.38 ± 0.59

Tabla 33. Medidas de las medias (mm y grados sexagesimales) con desviaciones estándar en proyección lateral (L). LN: Proyección L en posición neutra de la muñeca; LE: Proyección L en extensión; LF: Proyección L en flexión; LFCR: Proyección L en tracción del tendón *Flexor Carpi Radialis*; FASES: 2: Modelo de inestabilidad; 3: Osteotomía en flexión. DST = Traslación dorsal del escafoides.

La comparación mediante la aplicación del test de Wilcoxon dio los siguientes resultados:

TEST DE WILCOXON - FASE 2 vs. FASE 3 (L)					
	Variable	LN	LE	LF	LFCR
Valor p	Ángulo Inclinación Palmar	0.008	0.008	0.008	0.008
	Ángulo SL	0.008	0.011	0.008	0.038
	Ángulo RL	0.012	0.008	0.110	0.314
	DST	0.144	0.028	0.249	0.018

Tabla 34. Tabla resumen del valor de p mediante la prueba de Wilcoxon para las diferencias en la inclinación palmar, el ángulo escafosemilunar, el ángulo radiolunar y la traslación dorsal del escafoides (DST) en la proyección lateral (L) entre la fase 2 (modelo de inestabilidad) y la fase 3 (osteotomía) LN: Proyección L en posición neutra de la muñeca; LE: Proyección en L en extensión;

LF: Proyección L en flexión; LFCR: Proyección L en tracción del tendón *Flexor Carpi Radialis*; DST: Traslación dorsal del escafoides. Cuadro sombreado azul = diferencia estadísticamente significativa.

Las diferencias estadísticamente significativas se observan en las siguientes variables:

- En todas las proyecciones laterales, el ángulo de inclinación palmar del radio distal aumentó significativamente debido a la realización de la osteotomía en flexión.
- Ángulo escafosemilunar en proyección lateral neutra: en modelo de inestabilidad = $71,7^{\circ} \pm 10,735^{\circ}$; tras la realización de la osteotomía = $50,575^{\circ} \pm 14,5455^{\circ}$; $p = 0,008$.
- Ángulo radiolunar en proyección lateral neutra: en modelo de inestabilidad = $23,69^{\circ} \pm 18,0026^{\circ}$; tras la realización de la osteotomía = $11,908^{\circ} \pm 9,3912^{\circ}$; $p = 0,012$.
- Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en extensión: en modelo de inestabilidad = $56,82^{\circ} \pm 19,6311^{\circ}$; tras la realización de la osteotomía = $33,15^{\circ} \pm 12,4557^{\circ}$; $p = 0,011$.
- Ángulo radiolunar en proyección lateral en extensión: en modelo de inestabilidad = $31,3^{\circ} \pm 7,8273^{\circ}$; tras la realización de la osteotomía = $15,733^{\circ} \pm 9,8978^{\circ}$; $p = 0,008$.
- Traslación dorsal del escafoides en proyección lateral en extensión: en modelo de inestabilidad = 3.24 ± 2.53 mm; tras la realización de la osteotomía = 0.49 ± 0.83 mm; $p = 0,021$.
- Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en flexión: en modelo de inestabilidad; $81,81^{\circ} \pm 15,944^{\circ}$; tras la realización de la osteotomía = $45,708^{\circ} \pm 11,4093^{\circ}$; $p = 0,008$.
- Ángulo escafosemilunar en proyección lateral bajo tracción del palmar mayor: en modelo de inestabilidad = $87,8^{\circ} \pm 12,1458^{\circ}$; tras la realización de la osteotomía = $48,733^{\circ} \pm 11,6583^{\circ}$; $p = 0,038$.

- Traslación dorsal del escafoides en proyección lateral en flexión bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*: en modelo de inestabilidad = 33.81 ± 1.39 mm; tras la realización de la osteotomía = 0.38 ± 0.59 mm; $p = 0,018$.

C. ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LOS ESPECÍMENES EN SITUACIÓN BASAL Y TRAS LA REALIZACIÓN DE LA OSTEOTOMÍA (Fase 1 vs. Fase 3)

i. Proyecciones anteroposteriores

Los valores promedio de las variables observadas en las proyecciones anteroposteriores en las fases 1 y 3 se recogen en la siguiente tabla:

FASE	Variable	APN	APRP	APCP	APR	APECU	APFCU	APFCR
1	Longitud Escafoides	$0,88 \pm 0,13$	$0,85 \pm 0,24$	$1,20 \pm 0,18$	$0,98 \pm 0,15$	$1,12 \pm 0,22$	$0,90 \pm 0,20$	$0,68 \pm 0,10$
	GAP SL	$0,08 \pm 0,02$	$0,08 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,04$	$0,07 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,03$	$0,08 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,03$
3	Longitud Escafoides	$1,02 \pm 0,17$	$0,92 \pm 0,16$	$1,11 \pm 0,13$	$0,94 \pm 0,20$	$1,08 \pm 0,07$	$0,89 \pm 0,16$	$0,61 \pm 0,09$
	GAP SL	$0,05 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,03$	$0,05 \pm 0,04$	$0,7 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,03$

Tabla 35. Resumen de las medias de las medidas (mm) + desviación estándar en proyección anteroposterior (AP). APN: proyección AP en posición neutra de la muñeca; APRP: proyección AP en desviación radial; APCP: proyección AP en desviación cubital; APR: proyección AP en tracción de los tendones *extensor carpi radialis longus y brevis*; APECU: proyección AP en tracción del tendón *extensor carpi ulnaris*; APFCU: proyección AP en tracción del tendón *flexor carpi ulnaris*; APFCR: proyección AP en tracción del tendón *flexor carpi radialis*; FASES: 1: situación basal. 2: modelo de inestabilidad; 3: osteotomía en flexión.

En la tabla 36 se recogen los resultados de la aplicación del test de Wilcoxon para la evaluación de las diferencias observadas entre las mediciones recogidas en situación basal y tras la realización de la osteotomía. Los resultados fueron los siguientes:

TEST DE WILCOXON – FASE 1 vs. FASE 3 (AP)								
	Variable	APN	APRP	APCP	APR	APECU	APFCU	APFCR
Valor p	Longitud escafoides	0.042	0.735	0.611	0.600	0.917	0.612	0.553
	GAP SL	0.680	0.058	0.309	0.167	0.138	0.197	0.248

Tabla 36. Resumen del valor de p mediante la prueba de Wilcoxon para la comparativa de las diferencias en la longitud del escafoides y el intervalo escafosemilunar en proyección anteroposterior (AP) entre la fase 1 (situación basal) y tras la realización de la osteotomía (Fase 3). APN: proyección AP en posición neutra de la muñeca; APRP: proyección AP en desviación radial; APCP: proyección AP en desviación cubital; APR: proyección AP en tracción de los tendones *extensor carpi radialis longus y brevis*; APECU: proyección AP en tracción del tendón *extensor carpi ulnaris*; APFCU: proyección AP en tracción del tendón del *flexor carpi ulnaris*; APFCR: proyección AP en tracción del tendón del *flexor carpi radialis*; Cuadros sombreados: azul = diferencia estadísticamente significativa. Verde: significación marginal.

En las tablas 35 y 36 se puede comprobar que solo existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de la variable Longitud del Escafoides normalizada en proyección AP neutra entre la situación basal ($0,8843 \pm 0,13290$ mm) y tras la realización de la osteotomía ($1,0217 \pm 0,17554$ mm); p_valor = 0,042. No se observaron diferencias significativas en el gap escafosemilunar.

ii. Proyecciones laterales

La tabla 37 recoge los resultados detallados de todas las variables estudiadas en proyección lateral en situación basal y tras la realización de la osteotomía.

FASE	Variable	LN	LE	LF	LFCR
1	Ángulo Inclinación Palmar	9.95 ± 3.92	13.15 ± 4.45	13.92 ± 3.22	17.72 ± 6.63
	Ángulo SL	58.47 ± 7.96	42.48 ± 17.47	59.35 ± 12.37	63.40 ± 20.66
	Ángulo RL	15.22 ± 9.01	26.44 ± 10.01	19.85 ± 8.98	21.46 ± 5.54
	DST	2.38 ± 1.36	1.98 ± 2.45	2.21 ± 1.94	1.55 ± 1.15
3	Ángulo Inclinación Palmar	29.75 ± 5.18	28.14 ± 9.41	32.19 ± 7.21	34.64 ± 8.59
	Ángulo SL	50.75 ± 14.54	33.15 ± 12.45	59.71 ± 11.41	68.73 ± 19.65
	Ángulo RL	11.91 ± 9.39	15.73 ± 9.89	30.73 ± 18.69	24.80 ± 13.49
	DST	0.45 ± 0.94	0.49 ± 0.83	1.24 ± 2.07	0.38 ± 0.59

Tabla 37. Medidas de las medias (mm y grados sexagesimales) con desviaciones estándar en proyección lateral (L). LN: Proyección L en posición neutra de la muñeca; LE: Proyección L en extensión; LF: Proyección L en flexión; LFCR: Proyección L en tracción del tendón del *Flexor Carpi Radialis*; FASES: 1: Situación basal; 3: Osteotomía en flexión. DST = Traslación dorsal del escafoides.

Al aplicar el test de Wilcoxon para comparar los valores obtenidos entre la fase 1 y la fase 3, se obtuvieron los siguientes resultados:

TEST DE WILCOXON – FASE 1 vs. FASE 3 (L)					
	Variable	LN	LE	LF	LFCR
Valor p	Ángulo Inclinación Palmar	0.018	0.028	0.018	0.043
	Ángulo SL	0.735	0.051	1	0.893
	Ángulo RL	0.091	0.018	0.735	0.686
	DST	0.08	0.345	0.600	0.144

Tabla 38. Resumen del test de Wilcoxon para las diferencias en la inclinación palmar, el ángulo escafosemilunar, el ángulo radiolunar y la traslación dorsal del escafoides (DST) en la proyección lateral (L) entre la fase 1 (situación basal) y después de la osteotomía en flexión (Fase 3). LN: Proyección L en posición neutra de la muñeca; LE: Proyección en L en extensión; LF: Proyección L en flexión; LFCR: Proyección L en tracción del tendón del *Flexor Carpi Radialis*; DST: Traslación dorsal del escafoides. Valor de p; Cuadros sombreados: azul = diferencia estadísticamente significativa. Verde: significación marginal.

Las únicas diferencias estadísticamente significativas se observaron en el ángulo de inclinación palmar del radio distal en todas las proyecciones laterales, que aumentó significativamente debido a la realización de la osteotomía en flexión, y en el ángulo radiolunar en proyección lateral en extensión: en situación basal = $26,443 \pm 10,0103^\circ$; tras la realización de la osteotomía = $15,733 \pm 9,8978^\circ$; $p = 0,018$. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el ángulo escafosemilunar en ninguna proyección lateral ni en el DST.

7. DISCUSIÓN

7. DISCUSIÓN

El tratamiento de la inestabilidad escafosemilunar actualmente representa un desafío para la cirugía de la mano y la cirugía ortopédica en su conjunto. En 1975 Linscheid describió la primera técnica de tenodesis con un pedículo de ERCB que se pasaba a través del escafoide y semilunar mediante la perforación de túneles oblicuos para recrear el ligamento interóseo. Esta técnica inicial tuvo como principal complicación la interferencia en el aporte de sangre al hueso y por lo tanto la aparición de fracturas secundarias (Linscheid y cols, 1992). Desde finales de la década de 1970 y hasta el momento actual se han desarrollado numerosos procedimientos de reconstrucción ligamentosa (Almquist 1991, Brunelli y Brunelli, 1995; Corella y cols, 2013) para el tratamiento en estadio 4, antes de que aparezcan cambios degenerativos en el carpo y cuando la inestabilidad todavía es reductible porque se puede corregir la desalineación escafosemilunar (García-Elías y cols, 2006), pero en todos ellos, los resultados han sido muy dispares y ninguno ha demostrado ser claramente definitivo para la solución del problema, lo que provoca una decepción constante y que el enfoque óptimo aún no se haya podido establecer (Daly y cols, 2020).

Naqui y cols. (Naqui y cols, 2018) publicaron una revisión sistemática en 2018 sobre el tratamiento de la disociación escafosemilunar crónica. Incluyeron 17 de un total de 1191 estudios recuperados, identificando 27 técnicas quirúrgicas diferentes publicadas antes de 2015 para el tratamiento de algún estadio de inestabilidad escafosemilunar. Todos los estudios seleccionados ofrecieron evidencia de nivel IV, describiendo una reducción del 54% en el dolor, un aumento del 24% en la fuerza de prensión y una pérdida del 18% del arco de flexión. Se informó algún tipo de complicación en el 20% de los pacientes, y también hubo una tasa relativamente alta (3,8%) de síndrome de dolor regional complejo (SDRC). Las complicaciones y los fracasos de la reconstrucción llevaron a una cirugía de revisión en el 15% de los casos. Según los autores de esta revisión, no hubo pruebas suficientes para recomendar ningún tratamiento de la lesión SLIL crónica sobre cualquier otro.

En 2023 Imada y cols. (Imada y cols, 2023) realizaron una revisión de la literatura para evaluar los resultados a más de 5 años del tratamiento de la disociación escafosemilunar crónica y estática mediante tenodesis de Brunelli modificada, capsulodesis dorsal, artrodesis escafosemilunar e injerto hueso-ligamento-hueso utilizando el procedimiento de Cuenod modificado. Seleccionaron 6 artículos, todos con nivel de evidencia IV. Concluyeron que las tasas de cirugía de revisión oscilaron entre el 4,5 y el 16,9 %. La progresión a muñeca degenerativa osciló entre el 64 % en de los casos tratados con capsulodesis, el 13,3% en los tratados con tenodesis y el 7,7 % en el grupo de artrodesis. Observaron el desarrollo de SDRC en el 2% de casos.

Montgomery y cols. (Montgomery y cols, 2019) publicaron una revisión sistemática en 2019 analizando los resultados de 37 técnicas quirúrgicas realizadas en 805 muñecas para el tratamiento de las lesiones crónicas aisladas del ligamento escafosemilunar. Para ello realizaron una búsqueda bibliográfica de 631 artículos de los que seleccionaron 35 con nivel de evidencia IV. Informaron de una tasa de infección del 1,9%, desarrollo de neuromas o tejido cicatricial doloroso del 1,9%, SDRC del 2,7%, fracaso de la fijación o del injerto del 4,3%, necesidad de cirugía de revisión del 5,4% y progresión a muñeca SLAC del 8,4 %. Tras la aplicación del tratamiento identificaron una reducción de la fuerza de agarre del 18% con respecto a la muñeca contralateral, dolor en la escala visual analógica de 3 puntos y flexión de de 46,3°.

Pengcheng y cols. en 2017 (Pengcheng y cols, 2017) realizaron una revisión sistemática para comparar los resultados de la capsulodesis con las técnicas de tenodesis. Para ello seleccionaron 511 artículos de los que eligieron 11 para la revisión. Concluyeron que a los 11 meses de seguimiento postoperatorio se produjo una pérdida de movilidad, registrando un balance de flexo/extensión de 56°/45,6° en los pacientes intervenidos de capsulodesis y de 40,9°/47,3° en el grupo de tenodesis. Observaron que la media del ángulo escafosemilunar fue de 60,3° en los pacientes tratados con capsulodesis y de 56,5° en el

grupo de tenodesis, así como el gap escafosemilunar fue 3,44 mm y de 2,72 mm respectivamente.

Aunque los estudios a corto plazo arrojan resultados prometedores (Blatt, 1987; Brunelli y Brunelli, 1995), numerosos autores confirman un deterioro en la alineación carpiana en el seguimiento posterior (De Carli y cols, 2011; Moran y cols, 2006). Chabas y cols. observaron una pérdida de flexo/extensión hasta quedar en promedio en 41°/50° tras la realización de la técnica de Brunelli modificada en 19 pacientes a los 37 meses de seguimiento, y documentaron que el ángulo escafosemilunar mejoraba en el postoperatorio inmediato de 62° a 53° en promedio, pero al finalizar el seguimiento volvía a aumentar situándose en 61° en promedio (Chabas y cols, 2008).

Las causas del fracaso a largo plazo no están claras. Se han atribuido a la insuficiente restauración de la estabilidad de la región volar del ligamento (Steven y cols, 2005) y la falta de contención del escafoides en la flexión y pronación, lo que conducen a la distribución anormal de la carga (Steve y cols, 2014). Con la reconstrucción de la anatomía ligamentosa y la restauración de la alineación carpiana cabe esperar que mejore la distribución de fuerzas a las superficies articulares mejorando así la cinemática, aliviando el dolor, previniendo cambios degenerativos y restaurando la función de la muñeca (Pollock y cols, 2010). Sin embargo, como señalaron Furey y cols, la reconstrucción SLIL afecta sólo a un aspecto de la inestabilidad y probablemente sea insuficiente para restablecer íntegramente la biomecánica carpiana normal de forma estable a largo plazo; en este sentido, la configuración anatómica del radio y del escafoides tienen un papel muy relevante en la estabilización del carpo después de una lesión del SLIL (Furey y cols, 2020):

En un modelo cadavérico de sustitución del polo proximal del escafoides para tratar las pseudoartrosis del polo proximal, Capito y Higgins (Capito y Higgins, 2013) observaron que la preservación o reconstrucción de la integridad del ligamento escafosemilunar puede no ser necesaria si la reconstrucción del escafoides aumenta las dimensiones normales del

hueso nativo. Furey y cols. confirman en un modelo cadavérico de inestabilidad escafosemilunar que el gap SL y la alineación del carpo pueden restaurarse mediante un sobredimensionamiento del escafoides (Furey y cols, 2020), concluyendo que el efecto retentivo del alargamiento del escafoides puede representar una dirección futura para el tratamiento quirúrgico de la inestabilidad escafosemilunar.

En un estudio de ocho muestras de cadáveres con sección del ligamento escafosemilunar, Werner y cols. utilizaron un simulador de movimiento de muñeca para evaluar la estabilidad y observaron que la fosa radioescafoidea y la curvatura del escafoides eran más grandes en las muñecas que no evidenciaban inestabilidad grave. También se registró mayor estabilidad en muñecas con fosa radioescafoidea más profunda y mayor inclinación volar, concluyendo que la morfología del radio distal y del escafoides pueden tener un papel estabilizador ante una lesión del SLIL (Werner y cols, 2007).

Omori y cols. (Omori y cols, 2013) estudiaron a seis pacientes con disociación escafosemilunar en estadio IV y deformidad DISI, tres de los cuales tenían una consolidación defectuosa del radio distal desplazada en sentido dorsal. Los autores crearon modelos óseos tridimensionales de las muñecas a partir de tomografías computarizadas y calcularon la ubicación del centroide de cada hueso del carpo y el ángulo de rotación del escafoides y el semilunar en relación con el radio, comparando los resultados con sujetos normales. Demostraron que la inclinación dorsal patológica de la superficie distal del radio aumentaba la inestabilidad, reducía el área de contacto radioescafoideo y aumentaba la presión sobre las articulaciones radioescafoidea, mediocarpiana y escafotrapeciotrapezoide.

Estos hallazgos nos indujeron a pensar que en pacientes con inestabilidad escafosemilunar, la congruencia de las articulaciones radiocarpiana y mediocarpiana podría mejorarse mediante una modificación en la dirección opuesta, aumentando la flexión de la superficie articular del radio mediante la realización de una osteotomía que aumente la

inclinación volar de la superficie articular y que haga funcionar a la cresta dorsal del radio como factor restrictor físico a la traslación dorsal del escafoides. Este concepto de contención articular mediante la creación de un tope óseo se ha descrito para el tratamiento de la inestabilidad glenohumeral y en otras articulaciones (Latarjet, 1954), pero no se ha aplicado a la inestabilidad escafosemilunar.

Proponemos una línea de tratamiento que difiere completamente de los enfoques publicados anteriormente. Para ello desarrollamos un estudio experimental en cadáver recreando un modelo de inestabilidad escafosemilunar. Este modelo de inestabilidad cadavérica está ampliamente respaldado en la literatura:

En 2010, Pollock y cols. (Pollock y cols, 2010) desarrollaron un modelo de inestabilidad para comparar el grado de corrección obtenida al realizar la técnica Brunelli modificada (Talwalkar y cols, 2006; Van Den Abbeele y cols, 1998; Garcia-Elias y cols, 2006) con la capsulodesis de Blatt (Blatt, 1987). Para este fin, tomaron 5 especímenes cadavéricos, los diseccionaron y provocaron de forma controlada la situación de inestabilidad escafosemilunar mediante la sección secuencial del ligamento escafosemilunar, el ligamento radio-escafo-hueso grande y la cápsula dorsal hasta comprobar la posición anómala que adoptaban el semilunar y el escafoides y la pérdida de la relación entre ellos con los movimientos del carpo. La cápsula dorsal la diseccionaron de forma que fuera posible obtener los colgajos necesarios para realizar los procedimientos experimentales después (capsulodesis de Blatt y tenodesis de Brunelli modificada). Una vez creada la disociación escafosemilunar en las piezas, las sometieron de forma aleatoria a un procedimiento de reparación mediante una de las dos técnicas y midieron el gap escafosemilunar, el ángulo radiolunar y el ángulo escafosemilunar para cuantificar y comparar la corrección obtenida por cada una de las técnicas utilizadas.

En 2011 Lee y cols. (Lee y cols, 2011) desarrollaron un estudio para comparar la capacidad diagnóstica de las distintas proyecciones de estrés utilizadas para evaluar el

espacio escafosemilunar. Para ello tomaron 9 especímenes cadavéricos que diseccionaron para tratar de reproducir la inestabilidad escafosemilunar mediante la sección en serie de los ligamentos estabilizadores de la articulación, utilizando una técnica artroscópica de la muñeca con la siguiente secuencia: porción volar del ligamento interóseo escafosemilunar, porción membranosa, y porción dorsal, ligamento radio-escafo-hueso grande y el ligamento radiolunar largo. A continuación, mediante abordajes de pequeña incisión seccionaron el ligamento radiocarpiano dorsal, el intercarpiano dorsal y el escafo-trapecio-trapezoidal. Una vez comprobada la situación de inestabilidad disociativa creada, para replicar el movimiento fisiológico en la muñeca en las piezas, diseccionaron y referenciaron 7 grupos de tendones que sometieron a carga de 22,3 N mediante la tracción con pesas para simular los rangos de carga de la muñeca con la contracción de cada tendón: *flexor carpi radialis* (FCR), *flexor carpi ulnaris* (FCU), *extensor carpi radialis longus* (ECRL), *extensor carpi ulnaris* (ECU), *flexor digitorum superficialis* (FDS), el *flexor digitorum profundus* (FDP) y el *flexor pollicis longus* (FPL). A continuación, realizaron un estudio radiográfico con la siguiente secuencia de proyecciones a todas las muñecas, para medir y comparar el gap escafosemilunar: AP neutra, AP en desviación radial, AP en desviación cubital, AP con el puño apretado en neutro, AP puño apretado en desviación radial, AP con el puño apretado en desviación cubital, AP neutra con tracción en los dedos índice y medio, AP en pronación de 20° con tracción en los dedos índice y medio, AP con tracción en el pulgar, AP con puño apretado neutro con el antebrazo en supinación, AP con el puño apretado en desviación radial con el antebrazo en supinación, AP con el puño apretado en desviación cubital con las cabezas del segundo y tercer metacarpiano apoyadas en el chasis, AP con el puño apretado en desviación cubital con la tercera y cuarta cabezas del metacarpiano apoyadas en el chasis, AP con el puño apretado anteroposterior en desviación cubital con la cuarta y quinta cabezas del metacarpiano apoyadas en el chasis, AP con el puño apretado en diversos grados de desviación cubital con cabezas de segundo y tercer metacarpiano apoyadas en el chasis, proyección de lápiz apretado.

En 2015 Payet y cols (Payet y cols, 2015) desarrollaron un estudio experimental en 14 especímenes para demostrar la eficacia de la capsulodesis intercarpiana dorsal horizontal (Delattre y cols, 2011). Para tal fin crearon un modelo de inestabilidad escafosemilunar en los cadáveres mediante la sección del ligamento escafosemilunar por vía de abordaje dorsal. El estudio radiológico consistió en una secuencia de radiografías que tomaron en el siguiente orden: AP neutra, lateral neutra, AP en desviación radial y cubital máxima y laterales en flexión y extensión máxima. Realizaron la secuencia antes y después de realizar la capsulotomía de Delattre en los especímenes, y compararon los valores obtenidos en la medición del ángulo SL, gap SL y ángulo radiolunar.

En 1987, Burguess (Burguess, 1987) publicó los resultados de un estudio en modelo cadavérico sobre el efecto de la subluxación rotatoria del escafoides en el área de contacto radioescafoidea. Concluyó que 5° grados de subluxación reducen el área de contacto del polo proximal en un 44 %, con la aparición de una subluxación dorsal. A 20° de subluxación, el área de contacto se redujo hasta el 77%, aumentando la subluxación hacia el reborde estiloides dorsorradial. Describe el proceso de desarrollo de artritis de forma progresiva desde la estiloides radial hacia el resto de la articulación y señala la importancia de la contención radioescafoidea de una disociación escafosemilunar para la prevención del desarrollo de la muñeca SLAC.

Estudios recientes han continuado realizando evaluaciones radiográficas biplanas, estáticas y dinámicas a los modelos cadavéricos (Burnier y cols, 2021). En nuestro estudio hemos reemplazado la proyección de estrés con el puño cerrado descrita en otros estudios (Hsu y cols, 2014; Athlani y cols, 2018) por la proyección de estrés en tracción FCR para revelar mayores desalineaciones en el carpo. A diferencia del modelo de inestabilidad SL descrito por Payet, nuestro modelo contempla la vulneración de los estabilizadores secundarios volares de la articulación escafosemilunar, ligamento REHG y ligamentos del área STT (Short y cols, 2002), pues la lesión del ligamento escafosemilunar por sí sola no causa inestabilidad escafosemilunar, deben verse afectados también los ligamentos

estabilizadores secundarios para que se produzca la flexión y pronación del escafoides (Short y cols, 2015). Los abordajes artroscópicos del modelo de Pollock (Pollock y cols 2011) han sido sustituidos por abordajes abiertos en nuestro modelo.

La osteotomía en flexión del radio se puede realizar con un efecto de adición (“cuña abierta”) o de sustracción (“cuña cerrada”). En nuestro estudio seleccionamos arbitrariamente la primera opción con la intención de provocar el alargamiento relativo del radio y del escafoides de acuerdo con los postulados de Capito y Higgins (Capito y Higgins, 2013) y Furey (Furey y cols, 2020) y así conseguir un retensado de la cápsula radiocarpiana y de los estabilizadores secundarios. En nuestro experimento pudimos comprobar su efecto corrigiendo la alineación del carpo, el intervalo escafosemilunar, los ángulos escafosemilunar y radiolunar, y la traslación dorsal del escafoides sin realizar ninguna actuación directa sobre el ligamento SL. Sin embargo, surge la preocupación del posible aumento en las presiones de contacto entre las superficies articulares del escafoides y el radio. Se deben considerar las repercusiones de este aumento en la movilidad de la muñeca y la progresión a osteoartritis antes de aplicar esta técnica en los pacientes.

Las limitaciones de este estudio cadavérico son varias. En primer lugar, el estudio se basó en un número pequeño de muestra y no permitió examinar las repercusiones clínicas y la cinemática articular bajo control neuromuscular in vivo. Tampoco fue posible evaluar el impacto de la modificación de las transmisiones de carga articular o los efectos de la osteotomía en los arcos funcionales del movimiento de la muñeca después de la osteotomía. Además, solo se utilizaron proyecciones radiológicas AP y L para las mediciones, lo que arrojó información en 2D que podría completarse mediante evaluación 3D y con una tomografía computarizada. Otra limitación surge con la funcionalidad in vivo de la articulación radiocubital distal al realizar la osteotomía radial proximal a ella. Además, el material de fijación genérico empleado para la estabilización de la osteotomía es muy diferente de los sistemas de fijación anatómicos específicos del radio. Por otro lado, la osteotomía realizada en nuestro estudio fue de adición. Sería interesante repetir el

experimento con una osteotomía de sustracción (acortamiento) para comparar los efectos y para establecer el ángulo de flexión crítico en la osteotomía. Finalmente, aunque estos resultados son alentadores, se necesita un estudio prospectivo in vivo con grupo control para determinar los resultados a medio y largo plazo de este procedimiento, ya que los hallazgos reflejan sólo la condición postquirúrgica inmediata, no pudiendo asegurar que en el futuro pudiera producirse el deterioro articular bajo condiciones de carga, movimientos repetitivos y estiramiento de tejidos blandos, por lo que su aplicación en el ámbito clínico está aún por demostrarse.

8. CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES

En base a los resultados observados, concluimos que:

1. En la experimentación realizada hemos logrado recrear un modelo de inestabilidad disociativa escafo-semilunar estática en los especímenes de cadáver, sólo cuando a la división del ligamento escafo-lunar asociábamos la sección de los ligamentos estabilizadores secundarios: DIC, REHG y STT. Se produjo una disminución de la longitud del escafoides, aparece el signo del anillo en las proyecciones anteroposteriores, aumentan los ángulos escafosemilunar y radiolunar y la traslación dorsal del escafoides hasta niveles patológicos.

2. En proyección lateral, la traslación dorsal del escafoides observada en el modelo de inestabilidad, es máxima bajo tracción del tendón FCR, llegando incluso a subluxarse el hueso navicular por encima de la cornisa dorsal del radio distal. Por ello, proponemos la realización de esta proyección dinámica para el diagnóstico clínico de la inestabilidad escafosemilunar.

3. La realización de la osteotomía en flexión con cuña de adición mejora la congruencia escafosemilunar, la alineación de la primera hilera del carpo y reduce la subluxación dorsorradial del escafoides de forma estadísticamente significativa respecto al modelo de inestabilidad.

4. Las únicas diferencias estadísticamente significativas en la comparación radiocinemática de la situación basal y tras la osteotomía de radio sobre modelo de inestabilidad se observaron en el ángulo de inclinación palmar del radio distal en todas las proyecciones laterales, por ser cosustancial a la osteotomía en flexión. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el GAP, longitud del escafoides en proyección

AP, ni en el ángulo escafosemilunar o la traslación dorsal del escafoides en ninguna proyección lateral.

5. La mejora de los parámetros radiográficos y radiocinemáticos que hemos observado tras la osteotomía experimental conduce a valores similares a los de la situación basal y abre una línea alternativa de tratamiento en la hasta ahora no resuelta lesión del ligamento escafosemilunar.

6. Un estudio de las presiones intraarticulares radiocarpianas y un análisis biomecánico de las repercusiones de la osteotomía en el funcionamiento de la articulación radiocubital distal son necesarios antes de ensayar este procedimiento en clínica humana.

9. BIBLIOGRAFÍA

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Rouvière H, Delmas H. Huesos de la mano. En: Rouvière H, Delmás H. Anatomía Humana descriptiva, topográfica y funcional. 11ª ed. Vol 3, Anatomía descriptiva del miembro superior. Madrid, ed. Masson; 2011, pp 30-36.
2. Berger RA. The ligaments of the wrist. A current overview of anatomy with considerations of their potential functions. *Hand Clin.* 1997;13 (1)63-82.
3. Taleisnik J. The ligaments of the wrist. *J Hand Surg Am.* 1976;1(2):110-118.
4. Leake RL, Mills MK, Allen H, Crawford AM, Kobes PH, Soltanolkotabi M. MRI of the Wrist Ligaments. *Top Magn Reson Imaging.* 2020;29(5):209-220.
5. Ringler MD, Murthy NS. MR Imaging of Wrist Ligaments. *Magn Reson Imaging Clin N Am.* 2015;23(3):367-9.
6. Shahabpour M, Abid W, Van Overstraeten L, Van Royen K, De Maeseneer M, Extrinsic and Intrinsic Ligaments of the Wrist. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2021;25(2):311-328.
7. Zlatkin MB, Rosner J. MR imaging of ligaments and triangular fibrocartilage complex of the wrist. *Magn Reson Imaging Clin North Am.* 2004;12(2)301-331.
8. Viegas SF, Ballantyne DG. Attritional lesions of the wrist joint. *J Hand Surg Am.* 1987;12(6):1025-1029.
9. Gheno R, Buck FM, Nico MA, Trudell DJ, Resnick D. Differences between radial and ulnar deviation of the wrist in the study of the intrinsic intercarpal ligaments: magnetic resonance imaging and gross anatomic inspection in cadavers. *Skeletal Radiol.* 2010;39:799–805.
10. Daunt N. Magnetic resonance imaging of the wrist: anatomy and pathology of interosseous ligaments and the triangular fibrocartilage complex. *Curr Probl Diagn Radiol.* 2002;31(4):158-176.

11. Berger RA, Imeada T, Berglund L. Constraint and material properties of the subregions of the scapholunate interosseous ligament. *J Hand Surg Am.* 1999; 24(5):953-962.
12. Kijima Y, Viegas SF. Wrist anatomy and biomechanics. *J Hand Surg Am.* 2009;34(8):1555-63.
13. Berger RA. The anatomy of the ligaments of the wrist and distal radioulnar joints. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;(383):32-40.
14. Nagao S, Patterson RM, Buford WL Jr, Andersen CR, Shah MA, Viegas SF. Three-dimensional description of ligamentous attachments around the lunate. *J Hand Surg Am.* 2005;30(4):685-92.
15. Ritt MJ, Bishop AT, Berger RA. Lunotriquetral ligament properties: a comparison of three anatomic subregions. *J Hand Surg Am.* 1998;23(3):425-431.
16. Shin AY, Battaglia MJ, Bishop AT. Lunotriquetral instability: diagnosis and treatment. *J Am Acad Orthop Surg.* 2000;8(3):170-179.
17. Higashigaito K, Pfirrmann CWA, Koch S, Graf D, Schweizer A, Nanz D, Roskopf AB. Ligaments of the scapho-trapezial-trapezoidal joint: MR anatomy in asymptomatic and symptomatic individuals. *Skeletal Radiol.* 2022;51(3):637-647.
18. Drewniany JJ, Palmer AK, Flatt AE. The scaphotrapezial ligament complex: an anatomic and biomechanical study. *J Hand Surg Am.* 1985;10(4):492-8.
19. Bettinger PC, Linscheid RL, Berger RA, Cooney WP 3rd, An KN. An anatomic study of the stabilizing ligaments of the trapezium and trapeziometacarpal joint. *J Hand Surg Am.* 1999;24(4):786-98.
20. Bateni CP, Bartolotta RJ, Richardson ML. Imaging key wrist ligaments: what the surgeon needs the radiologist to know. *AJR Am J Roentgenol.* 2013;200(5):1089-1095.
21. Timins ME, Jahnke JP, Krah SF, Erickson SJ, Carrera GF. MR imaging of the major carpal stabilizing ligaments: normal anatomy and clinical examples. *Radiographics.* 1995;15:575-587.

22. Brown RR, Fliszar E, Cotten A, Trudell D, Resnick D. Extrinsic and intrinsic ligaments of the wrist: normal and pathologic anatomy at MR arthrography with three-compartment enhancement. *Radiographics*. 1998;18(3):667-74.
23. Kauer JM. Functional anatomy of the wrist. *Clin Orthop Relat Res*. 1980;149:9-20.
24. Garcia-Elias M. Soft-tissue anatomy and relationships about the distal ulna. *Hand Clin*. 1998;14(2):165-176.
25. Mak WH, Szabo RM, Myo GK. Assessment of volar radiocarpal ligaments: MR arthrographic and arthroscopic correlation. *AJR Am J Roentgenol*. 2012;198(2):423-7.
26. Frane N, Goldenberg W. Perilunate Dislocation. 2023 Aug 14. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. PMID: 32491641.
27. Hargreaves DG. Midcarpal instability. *J Hand Surg Eur Vol*. 2016;41(1):86-93.
28. Mizuseki T, Ikuta Y. The dorsal carpal ligaments: their anatomy and function. *J Hand Surg Br*. 1989;14:91-98.
29. Viegas SF, Yamaguchi S, Boyd NL, Patterson RM. The dorsal ligaments of the wrist: anatomy, mechanical properties, and function. *J Hand Surg Am*. 1999;24:456-468.
30. Elsaidi GA, Ruch DS, Kuzma GR. Dorsal wrist ligament insertions stabilize the scapholunate interval: cadaver study. *Clin Orthop Relat Res*. 2004;425:152-157.
31. Kaufmann, RA, Pfaeffle, HJ, Blankenhorn, BD, Stabile K, Robertson D, Goitz R. Kinematics of the midcarpal and radiocarpal joint in flexion and extension: An in vitro study. *J. Hand Surg*. 2006;31:1142-1148.
32. Herzog KH. On the morphology of the radiocarpal joint in diseases of the wrist. *Bruns Beitr Klin Chir*. 1960;200:427-36.
33. Eschweiler J, Li J, Quack V, Rath B, Baroncini A, Hildebrand F, Migliorini F. Anatomy, Biomechanics, and Loads of the Wrist Joint. *Life Basel*. 2022;12(2):188.
34. Moore, JA, Small CF, Bryant JT, Ellis RE, Pichora DR, Hollister AM. A kinematic technique for describing wrist joint motion: Analysis of configuration space plots. *Proc. Inst. Mech. Eng*. 1993;207:211-218.

35. Moritomo H, Apergis EP, Herzberg G, Werner FW, Wolfe SW, Garcia-Elias M. 2007 IFSSH committee report of wrist biomechanics committee: biomechanics of the so-called dart-throwing motion of the wrist. *J Hand Surg Am.* 2007;32(9):1447-53.
36. Werner FW, Sutton LG, Basu N, Short WH, Moritomo H, St-Amand H. Scaphoid tuberosity excursion is minimized during a dart-throwing motion: A biomechanical study. *J Hand Ther.* 2016;29(2):175-82.
37. Werner FW, Short WH, Fortino MD, Palmer AK. The relative contribution of selected carpal bones to global wrist motion during simulated planar and out-of-plane wrist motion. *J Hand Surg Am.* 1997;22(4):708-13.
38. Wessel LE, Wolfe SW. Scapholunate Instability: Diagnosis and Management - Anatomy, Kinematics, and Clinical Assessment - Part I. *J Hand Surg Am.* 2023;48(11):1139-1149.
39. Weber ER. Concepts governing the rotational shift of the intercalated segment of the carpus. *Orthop Clin North Am.* 1984;15(2):193-207.
40. Wolfe SW, Neu C, Crisco JJ. In vivo scaphoid, lunate, and capitate kinematics in flexion and in extension. *J Hand Surg Am.* 2000;25(5):860-869.
41. Redeker J, Vogt PM. Carpal instability. *Chirurg.* 2011;82(1):85-93.
42. Murgia A, Kyberd PJ, Chappell PH, Light CM. Marker placement to describe the wrist movements during activities of daily living in cyclical tasks. *Clin Biomech.* 2004;19(3):248-54.
43. Ruby LK, Cooney WP III, An KN, Linscheid RL, Chao EY. Relative motion of selected carpal bones: a kinematic analysis of the normal wrist. *J Hand Surg.* 1988;13A:1-10.
44. Kuo C, Wolfe S. Scapholunate instability: Current concepts in diagnosis and management. *J Hand Surg (Am)*, 2008; 33:998-1013.
45. Navarro, A. Luxaciones del carpo. *An. Fac. Med.* 1921;6:113-141.
46. Macconail MA. The mechanical anatomy of the carpus and its bearings on some surgical problems. *J. Anat.* 1941;75:166-175.

47. Gilford W, Bolton R, Lambrinudi C. The mechanism of the wrist joint with special reference to fractures of the scaphoid. *Guy's Hosp. Rep.* 1943;92:52–59.
48. Gelberman RH, Cooney WP 3rd, Szabo RM. Carpal instability. *Instr Course Lect.* 2001;50:123-34.
49. Lichtman DM, Schneider JR, Swafford AR, Mack GR. Ulnar midcarpal instability-clinical and laboratory analysis. *J. Hand Surg.* 1981;6:515–523.
50. Craigen MA, Stanley JK. Wrist kinematics. Row, column or both? *J Hand Surg Br.* 1995;20(2):165-70.
51. Moritomo, H, Murase T, Goto A, Oka K, Sugamoto K, Yoshikawa H. Capitate-based kinematics of the midcarpal joint during wrist radioulnar deviation: An in vivo three-dimensional motion analysis. *J. Hand Surg.* 2004;29, 668–675.
52. Garcia-Elias M. Kinetic analysis of carpal stability during grip. *Hand Clin.* 1997;13(1):151-8.
53. An KN, Chao EY, Cooney WP, Linscheid RL. Forces in the normal and abnormal hand. *J Orthop Res.* 1985;3 2):202-211.
54. Melsom D, Leslie I. Carpal dislocations. *Curr Orthop.* 2007;21:288-297.
55. Dobyens JH, Linscheid RL. A fifty-year overview of wrist instability. In: Berger RA, Weiss AP (eds). *Hand surgery, vol. 1.* Lippincott, Williams and Wilkins. Philadelphia, 2004. pp 461–479.
56. Landsmeer JM. Spatial coherences and spatial equilibrium in the carpal region. *Acta Anat Suppl (Basel).* 1968;54:1-84.
57. Fisk GR. Carpal instability and the fractured scaphoid. *Annals Royal Coll Surg England* 1970;46:63-76.
58. Kauer JM. The interdependence of carpal articulation chains. *Acta Anat (Basel).* 1974;88(4):481-501.
59. Garcia-Elias M, Lluch A. Partial excision of scaphoid: is it ever indicated? *Hand Clin.* 2001;17(4):687-695.

60. Sandow MJ, Fisher TJ, Howard CQ, Papas S. Unifying model of carpal mechanics based on computationally derived isometric constraints and rules-based motion—the stable central column theory. *J Hand Surg Eur Vol.* 2014;39(4):353-363.
61. Garcia-Elias M. The treatment of wrist instability. *J Bone Joint Surg Br.* 1997;79(4):684-90.
62. Linscheid RL, Dobyns JH, Beabout JW, Bryan RS. Traumatic instability of the wrist. Diagnosis, classification, and pathomechanics. *J Bone Joint Surg Am.* 1972;54(8):1612-32.
63. Destot E. The classic: injuries of the wrist: a radiological study. New York, NY: Paul B. Hoeber; 1926. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;445:8-14.
64. Dobyns J, Perkins J. Carpal Instability of the carpal navicular. *J Bone Joint Surg,* 1967;49A:1014.
65. Garcia-Elias M, Lluch AL, Stanley JK. Three-ligament tenodesis for the treatment of scapholunate dissociation: indications and surgical technique. *J Hand Surg Am.* 2006;31:125–134.
66. Griffin M, Roushdi I, Osagie L, Cerovac S, Umarji S. Patient-Reported Outcomes Following Surgically Managed Perilunate Dislocation: Outcomes After Perilunate Dislocation. *Hand (NY).* 2016;11(1):22-8.
67. Ibitayo A, Beckmann, N.M. Imaging evaluation of traumatic carpal instability. *Emerg Radiol.* 2021;28,349–359.
68. Short WH, Werner FW, Green JK. Biomechanical evaluation of ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate. *J Hand Surg Am.* 2002;27:991-1002.
69. Lee DH, Dickson KF, Bradley EL. The incidence of wrist interosseous ligament and triangular fibrocartilage articular disc disruptions: a cadaveric study. *J Hand Surg Am.* 2004;29(4):676-684.
70. O'Brien L, Robinson L, Lim E, O'Sullivan H, Kavnoudias, H. Cumulative incidence of carpal instability 12-24 months after fall onto outstretched hand. *J Hand Ther.* 2018;282-286.

71. Donald ML, Scapholunate Instability in Athletes. Clin Sports Med. 2001;20(1):131-140.
72. Cooney WP, Dobyns JH, Linscheid RL. Arthroscopy of the wrist: anatomy and classification of carpal instability. Arthroscopy. 1990;6(2):133-40.
73. Taleisnik J. Classification of carpal instability. Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst. 1984;44(2):511-31.
74. Taleisnik J. Current concepts review. Carpal instability. J Bone Joint Surg Am. 1988;70(8):1262-8.
75. Hodge JC, Gilula LA, Larsen CF, Amadio PC. Analysis of carpal instability: II. Clinical applications. J Hand Surg Am. 1995;20(5):765-76.
76. Theumann NH, Etehami G, Duvoisin B, Wintermark M, Schnyder P, Favarger N, Gilula LA. Association between extrinsic and intrinsic carpal ligament injuries at MR arthrography and carpal instability at radiography: initial observations. Radiology. 2006;238(3):950-7.
77. Watson H, Ottoni L, Pitts EC, Handal AG. Rotary subluxation of the scaphoid: a spectrum of instability. J Hand Surg Br. 1993;18(1):62-4.
78. Larsen CF, Amadio PC, Gilula LA. Classification of carpal instabilities. J Hand Surg. 1995;20A:757-764.
79. Urbanschitz L, Pastor T, Fritz B, Schweizer A, Reissner L. Posttraumatic Carpal Instability Nondissociative. J Wrist Surg. 2021;10(4):290-295.
80. Braun N, Berger RA, Wolfe SW. Defining DISI and VISI. J Hand Surg Eur Vol. 2021;46(5):566-568.
81. Wolfe SW, Garcia-Elias M, Kitay A. Carpal instability nondissociative. J Am Acad Orthop Surg. 2012;20(9):575-85.
82. Carlsen BT, Shin AY. Wrist instability. Scand J Surg. 2008;97:324–32.
83. Walsh JJ, Berger RA, Cooney WP. Current status of scapholunate interosseous ligament injuries. J Am Acad Orthop Surg. 2002;10(1):32–42.
84. Resnick D, Niwayama G. Carpal instability in rheumatoid arthritis and calcium pyrophosphate deposition disease. Ann Rheum Dis. 1977;36:311–8.

85. Lee DJ, Elfar JC. Carpal ligament injuries, pathomechanics, and classification. *Hand Clin.* 2005;31:389–398.
86. Kitay A, Wolfe SW. Scapholunate instability: current concepts in diagnosis and management. *J Hand Surg Am.* 2012;37:2175–96.
87. Ruby LK, An KN, Linscheid RL, Cooney 3rd WP, Chao EY. The effect of scapholunate ligament section on scapholunate motion. *J Hand Surg Am.* 1987;12:767–71.
88. Ocampos M, Corella F, Del Cerro M, Del Campo B. Lunotriquetral instability. *J Iber Hand Surg.* 2016;44(2):143-152.
89. Horii E, Garcia-Elias M, An KN, Bishop AT, Cooney WP, Linscheid RL. A kinematic study of luno-triquetral dissociations. *J Hand Surg Am.* 1991;16:355-362.
90. Trumble TE, Bour CJ, Smith RJ, Glisson RR. Kinematics of the ulnar carpus related to the volar intercalated segment instability pattern. *J Hand Surg Am.* 1990;15:384-392.
91. Mathoulin C, Saffar P, Roukoz S. Lunotriquetral instability. *Ann Chir Main Memb Super.* 1990;9(1):22-8.
92. Shin AY, Glowacki KA, Bishop AT. Dynamic axial carpal instability: a case report. *J Hand Surg Am.* 1999;24(4):781-5.
93. Garcia-Elias M, Dobyns JH, Cooney WP 3rd, Linscheid RL. Traumatic axial dislocations of the carpus. *J Hand Surg Am.* 1989;14(3):446-57.
94. Rettig L, Rettig A, Cleland K. Traumatic carpal axial instability in a professional football player. *Sports Health.* 2016;8:284–287.
95. Herzberg G. Perilunate and axial carpal dislocations and fracture–dislocations. *J Hand Surg.* 2008;33:1659–1668.
96. Kani KK, Mulcahy H, Chew FS. Understanding carpal instability: a radiographic perspective. *Skeletal Radiol.* 2016;45:1031–1043.
97. Wright TW, Dobyns JH, Linscheid RL, Macksoud W, Siegert J. Carpal instability non-dissociative. *J Hand Surg Br.* 1994;19(6):763-73.

98. Mayfield JK. Patterns of injury to carpal ligaments: a spectrum. Clin Orthop. 1984;187:36-42.
99. Mayfield JK, Johnson RP, Kilcoyne RK. Carpal dislocations: pathomechanics and progressive perilunar instability. J Hand Surg Am. 1980;5:226–41.
100. Johnson RP. The acutely injured wrist and its residuals. Clin Orthop Relat Res. 1980;149:33–44.
101. Bain GI, McLean JM, Turner PC, Sood A, Pourgiezis N. Translunate fracture with associated perilunate injury: 3 case reports with introduction of the translunate arc concept. J Hand Surg Am. 2008;33:1770–6.
102. Herzberg G, Comtet JJ, Linscheid RL, Amadio PC, Cooney WP, Stalder J. Perilunate dislocations and fracture-dislocations: a multicenter study. J Hand Surg Am. 1993;18:768–79.
103. Lee DJ, Elfar JC. Carpal ligament injuries, pathomechanics, and classification. Hand Clin. 2015;31:389–398.
104. Berger RA. The gross and histologic anatomy of the scapholunate interosseous ligament J Hand Surg Am. 1996;21(2):170-178.
105. Sokolow, C. Anatomy and histology of the scapholunate ligament. Hand Clinics. 2001;17:1
106. Liew MY, Mortimer JW, Paxton JZ, Tham S, Rust PA. Histomorphology of the Subregions of the Scapholunate Interosseous Ligament and Its Entesis. J Wrist Surg. 2021 Feb 16;10(6):467-475.
107. Berger RA, Imeada T, Berglund L. Constraint and material properties of the subregions of the scapholunate interosseous ligament. J Hand Surg Am. 1999;24(5):953-962.
108. Chato-Astrain J, Roda O, Carriel V, Hita-Contreras F, Sánchez-Montesinos I, Alaminos M, Hernández-Cortés P. Histological characterization of the human scapholunate ligament. Microsc Res Tech. 2024 Feb;87(2):257-271.

109. O'Meeghan CJ, Stuart W, Mamo V, Stanley JK, Trail IA. The natural history of an untreated isolated scapholunate interosseus ligament injury. *J Hand Surg Br.* 2003;28(4):307-10.
110. Resnick D. SLAC wrist. *J Hand Surg Am.* 1985;10(1):154-5.
111. Geissler WB, Freeland AE, Savoie FH, McIntyre LW, Whipple TL. Intracarpal soft-tissue lesions associated with an intra-articular fracture of the distal end of the radius. *J Bone Joint Surg.* 1996;78A:357-365.
112. Brunelli GA, Brunelli GR. A new technique to correct carpal instability with scaphoid rotary subluxation: a preliminary report. *J Hand Surg.* 1995;20A:S82-S85.
113. Watson HK, Ryu J. Evolution of arthritis of the wrist. *Clin Orthop Relat Res.* 1986;(202):57-67.
114. Watson HK, Weinzweig J, Zeppieri J. The natural progression of scaphoid instability. *Hand Clin.* 1997, 13: 39–49.
115. Viegas SF, Tencer AF, Cantrell J, Chang M, Clegg P, Hicks C. Load transfer characteristics of the wrist. Part II. Perilunate instability. *J Hand Surg.* 1987;12A:978-985.
116. Watson HK, Ballet FL. The SLAC wrist: scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis. *J Hand Surg* 1984;9A:358–365.
117. Beckenbaugh RD. Accurate evaluation and management of the painful wrist following injury: an approach to carpal instability. *Orthop Clin North Am.* 1984;15:289–306.
118. Atkinson LS, Baxley EG. Scapholunate dissociation. *Am Fam Physician.* 1994;49(8):1845-50.
119. Watson H, Ashmead D, Makhlof M. Examination of the scaphoid. *J Hand Surg Am.* 1988;13:657-660.
120. Stanley JK, Hodgson SP, Royle SG. An approach to the diagnosis of chronic wrist pain. *Ann Chir Main Memb Super.* 1994;13(3):202-5.
121. Krimmer H, Hahn P, Prommersberger KJ, Sauerbier M, Lanz U. Diagnostik und Therapie der skapholunären Dissoziation. *Aktuelle Traumatol.* 1996;26:264–269.

122. N. Dreant, G. Dautel. Development of an arthroscopic severity score for scapholunate instability. *Chir Main.* 2003;22:90-94.
123. Schmitt R, Froehner S, Coblenz G, Christopoulos G. Carpal instability. *Eur Radiol.* 2006;16(10):2161-78.
124. Messina JC, Van Overstraeten L, Luchetti R, Fairplay T, Mathoulin CL. The EWAS Classification of Scapholunate Tears: An Anatomical Arthroscopic Study. *J Wrist Surg.* 2013;2(2):105-9.
125. Dreant N, Mathoulin C, Lucchetti R. Comparison of two arthroscopic classifications for scapholunate instability. *Chir Main.* 2009;28:74-77.
126. Rhee P, Sauve P, Lindau T, Shin A, In brief: examination of ulnar- sided wrist pain. *J Hand Surg Am.* 2014;39:1859–62.
127. Sauve P, Rhee P, Shin A, Lindau T. Examination of the wrist: radial- sided wrist pain. *J Hand Surg Am.* 2014;39:2089–92.
128. Okoro CK, Skalski MR, Patel DB, White EA, Matcuk GR Jr. Imaging Diagnosis and Management of Carpal Trauma and Instability-An Illustrated Guide. *Life (Basel).* 2023;13(7):1426.
129. Cautilli G, Wehbé M. Scapholunate distance and cortical ring sign. *J Hand Surg Am.* 1991;16:501-503.
130. Gilula LA. Carpal injuries: analytic approach and case exercises. *AJR Am J Roentgenol.* 1979;133:503–517.
131. Martínez-Martínez F, García-Hortelano S; Moreno-Fernández JM, Níguez-Sevilla B, Cepero-Calvete A. Translunate fracture-dislocation. *Cir. plást. Iberolatinoam.* 2015;41:4.
132. Meyrueis JP, Cameli M, Jan P. Instability of the wrist. Diagnosis and clinical forms. *Ann Chir.* 1975, 32: 555–60.
133. Schimmerl-Metz SM, Metz VM, Totterman SM, Mann FA, Gilula LA. Radiologic measurement of the scapholunate joint: implications of biologic variation in scapholunate joint morphology. *J Hand Surg Am.* 1999;24(6):1237-44.

134. Gilula LA, Weeks PM. Post-traumatic ligamentous instabilities of the wrist. *Radiology*. 1978;129(3):641-51.
135. Linn MR, Mann FA, Gilula LA. Imaging the symptomatic wrist. *Orthop Clin North Am*. 1990;21:515–543.
136. Lawand A, Foulkes GD. The 'clenched pencil' view: a modified clenched fist scapholunate stress view. *J Hand Surg Am*. 2003 28:414–8.
137. Kleinman WB. Management of chronic rotary subluxation of the scaphoid by scapho-trapezio-trapezoid arthrodesis: rationale for the technique, postoperative changes in biomechanics, and results. *Hand Clin* 1987;3:113-33.
138. Dornberger JE, Rademacher G, Mutze S, Eisenschenk A, Stengel D. Accuracy of simple plain radiographic signs and measures to diagnose acute scapholunate ligament injuries of the wrist. *Eur Radiol*. 2015;25(12):3488-98.
139. Moneim MS. The tangential posteroanterior radiograph to demonstrate scapholunate dissociation. *J Bone Joint Surg Am*. 1981;63:1324–1326.
140. Pliefke J, Stengel D, Rademacher G. et al. Diagnostic accuracy of plain radiographs and cineradiography in diagnosing traumatic scapholunate dissociation. *Skeletal Radiol* 2008;37:139-145.
141. Sulkers GSI, Strackee SD, Schep NWL, Maas M.J *Hand Surg Eur Vol*. 2018;43(2):174-178.
142. Hafezi-Nejad N, Carrino JA, Eng J, Blackmore C, Shores J, Lifchez SD, Farahani SJ, Demehri S. Scapholunate Interosseous Ligament Tears: Diagnostic Performance of 1.5 T, 3 T MRI, and MR Arthrography-A Systematic Review and Meta-analysis. *Acad Radiol*. 2016;23(9):1091-103.
143. Berna-Serna JD, Martinez F, Reus M, Alonso J, Domenech-Ratto G. Wrist arthrography: a simple method. *Eur Radiol*. 2006;16:469–472.
144. Huflage H, Luetkens KS, Conrads N, Jakubietz MG, Jakubietz RG, Schmitt R, Goertz L, Pennig L, Bley TA, Grunz JP. Assessing the scapholunate and lunotriquetral interosseous ligament in MR arthrography: Diagnostic advantages of paraxial reformatting. *Eur J Radiol*. 2021;142:109860.

145. Fabio V, Danilo D, Cesare F, Stefano G, Roberto A, Norman DR. Dorsal scapholunate interosseous ligament: ultrasound evaluation between dominant and non-dominant wrist in young sports patients. *J Ultrasound*. 2022;25(3):579-584.
146. Dao KD, Solomon DJ, Shin AY, Puckett ML. The efficacy of ultrasound in the evaluation of dynamic scapholunate ligamentous instability. *J Bone Joint Surg*. 2004;86A:1473–1478
147. Ramamurthy NK, Chojnowski AJ, Toms AP. Imaging in carpal instability. *J Hand Surg Eur Vol*. 2016;41(1):22-34.
148. Athlani L, Rouizi K, Granero J, Hossu G, Blum A, Dautel G, Gondim Teixeira PA. Assessment of scapholunate instability with dynamic computed tomography. *J Hand Surg Eur Vol*. 2020;45(4):375-382.
149. Granero J, Orkut S, Rauch A, Blum A, Dautel G, Gondim Teixeira PA, Athlani L. Correlation Between Dynamic 4-Dimensional Computed Tomography Data and Arthroscopic Testing of Scapholunate Instability: A Preliminary Study. *J Hand Surg Am*. 2023;48(5):509e1-509e8.
150. Kompoliti E, Prodromou M, Karantanas AH. SLAC and SNAC Wrist: The Top Five Things That General Radiologists Need to Know. *Tomography*. 2021;23,7(4):488-503.
151. Vande Streek P, Carretta RF, Weiland FL, Shelton DK. Upper extremity radionuclide bone imaging: the wrist and hand. *Semin Nucl Med*. 1998;28(1):14-24.
152. Rominger MB, Bernreuter WK, Kenney PJ, Lee DH. MR imaging of anatomy and tears of wrist ligaments. *Radiographics*. 1993;13(6):1233-46.
153. Schmitt R, Christopoulos G, Meier R, Coblenz G, Fröhner S, Lanz U, Krimmer H. Direct MR arthrography of the wrist in comparison with arthroscopy: a prospective study on 125 patients. *Rofo*. 2003;175(7):911-9.
154. Lee R, Ng A, Tong C. Intrinsic ligament and triangular fibrocartilage complex tears of the wrist: comparison of MDCT arthrography, conventional 3-T MRI, and MR arthrography. *Skeletal Radiol*. 2013;42: 1277-1285.

155. Haims AH, Moore AE, Schweitzer ME. et al. MRI in the Diagnosis of Cartilage Injury in the Wrist. *Am. J. Roentgenol.* 2004;182:1267-1270.
156. Lindau TR. The role of arthroscopy in carpal instability. *J Hand Surg Eur Vol.* 2016.41(1):35-47.
157. Lindau T, Arner M, Hagberg L. Intra-articular lesions in distal fractures of the radius in young adults. A descriptive arthroscopic study in 50 patients. *J Hand Surg Br.* 1997;22: 638–43.
158. Forward DP, Lindau TR, Melsom DS. Intercarpal ligament injuries associated with fractures of the distal part of the radius. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:2334–40.
159. Mrkonjic A, Lindau TR, Geijer M, Tagil M. Arthroscopically diagnosed scapholunate ligament injuries associated with distal radial fractures. A 13 to 15 year follow-up. *J Hand Surg Am.* 2015;40:1077–82.
160. North ER, Meyer S. MR evaluation of triangular fibrocartilage complex tears in the wrist: comparison with arthrography and arthroscopy. *J Hand Surg Am.* 1990;15:915–20.
161. Andersson JK. Treatment of scapholunate ligament injury: Current concepts. *EFORT Open Rev.* 2017;9,2(9):382-393.
162. De Smet L. Pitfalls in wrist arthroscopy. *Acta Orthop Belg.* 2002;68(4):325-9.
163. Darlis NA, Weiser RW, Sotereanos DG. Partial scapholunate ligament injuries treated with arthroscopic debridement and thermal shrinkage. *J Hand Surg Am.* 2005;30(5):908-14.
164. Grunz J-P, Gietzen CH, Kunz AS. et al. Twin Robotic X-Ray System for 3D Cone-Beam CT of the Wrist: An Evaluation of Image Quality and Radiation Dose. *Am. J. Roentgenol* 2020;214: 422-427.
165. Shaw CB, Foster BH, Borgese M. Real-time three-dimensional MRI for the assessment of dynamic carpal instability. *PLoS One* 2019;14.
166. Rauch A, Arab WA, Dap F. Four-dimensional CT Analysis of Wrist Kinematics during Radioulnar Deviation. *Radiology.* 2018;289:750-758.

167. Gondim Teixeira PA, Formery A-S, Jacquot A, Quantitative analysis of subtalar joint motion with 4D CT: proof of concept with cadaveric and healthy subject evaluation, *AJR Am J Roentgenol.* 2017;208:150,158.
168. Wu M, Ilyas A. Comparison of Outcomes of Scapholunate Ligament Reconstruction Techniques. *J Wrist Surg.* 2022;12(6):558-568.
169. Athlani L, Pauchard N, Detammaecker R, Huguet S, Lombard J, Dap F, Dautel G. Treatment of chronic scapholunate dissociation with tenodesis: A systematic review. *Hand Surg Rehabil.* 2018;37(2):65-76.
170. Manuel J, Moran SL. The diagnosis and treatment of scapholunate instability. *Orthop Clin North Am.* 2007;38(2):261-77.
171. Larsen CF, Amadio PC, Gilula LC. Analysis of carpal instability: I. Description of the scheme. *J Hand Surg Am.* 1995;20(5):757-764.
172. Tang JB. Carpal instability associated with fracture of the distal radius. Incidence, influencing factors and pathomechanics. *Chin Med J Engl.* 1992;105(9):758-765.
173. Whipple TL. The role of arthroscopy in the treatment of scapholunate instability. *Hand Clin.* 1995;11(1):37-40.
174. Weiss AP, Sachar K, Glowacki AK. Arthroscopic debridement alone for intercarpal ligament tears *J Hand Surg Am.* 1997;22(2):344-349.
175. Hirsh L, Sodha S, Bozentka D. Arthroscopic electrothermal collagen shrinkage for symptomatic laxity of the scapholunate interosseous ligament. *J Hand Surg Br.* 2005;30 (6):643-647.
176. Bickert B, Sauerbier M, Germann G. Scapholunate ligament repair using the Mitek bone anchor. *J Hand Surg Br.* 2000;25(2):188-192.
177. Blatt G. Capsulodesis in reconstructive hand surgery: dorsal capsulodesis for the unstable scaphoid and volar capsulodesis following excision of the distal ulna. *Hand Clin.* 1987;3:81-102.
178. Delattre O, Duroux F, Goulon G et al. La capsulofibrodèse intercarpienne de retension horizontale de la premi- ère rangée des os du carpe. *Chir Main.*2011, 30: 452.

179. Mathoulin CL, Dauphin N, Wahegaonkar AL. Arthroscopic dorsal capsuloligamentous repair in chronic scapholunate ligament tears. *Hand Clin.* 2011;27(4):563-72.
180. S.F. Viegas, M. DaSilva. Surgical repair for scapholunate dissociation. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2000;4:148-153.
181. Eng K, Wagels M, Tham SK. Cadaveric scapholunate reconstruction using the ligament augmentation and reconstruction system. *J Wrist Surg.* 2014;3(3):192-7.
182. Wintman BI, Gelberman RH, Katz JN. Dynamic scapholunate instability: results of operative treatment with dorsal capsulodesis. *J Hand Surg Am.* 1995;20(6):971-979.
183. Luchetti R, Zorli IP, Atzei A, Fairplay T. Dorsal intercarpal ligament capsulodesis for predynamic and dynamic scapholunate instability. *J Hand Surg Eur Vol.* 2010;35(1):32-7.
184. Megerle K, Bertel D, Germann G, Lehnhardt M, Hellmich S. Long-term results of dorsal intercarpal ligament capsulodesis for the treatment of chronic scapholunate instability. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94(12):1660-5.
185. Yang Y, Kumar KK, Tsai TM. Radiographic evaluation of chronic static scapholunate dissociation post soft tissue reconstruction. *J Wrist Surg.* 2013;2(2):155-9.
186. Moran SL, Cooney WP, Berger RA. Capsulodesis for the treatment of chronic scapholunate instability. *J Hand Surg Am.* 2005;30(1):16-23.
187. Schuind F. Scapholunate reconstruction using a vascularized flap of the interosseus membrane. *Orthopedic Surgical Technology.* 1995;9:21-26.
188. Weiss AP. Scapholunate ligament reconstruction using a bone-retinaculum-bone autograft. *J Hand Surg Am.* 1998;23(2):205-215.
189. Kalb K, Markert S. Preliminary results with Cuenod's osteoligamentoplasty and capsulodesis for treatment of chronic scapholunate dissociation. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2003;35(5):310-316.

190. Harvey EJ, Sen M, Martineau P. A vascularized technique for bone-tissue-bone repair in scapholunate dissociation. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2006;10(3):166-172.
191. Ross M, Loveridge J, Cutbush K, Couzens G. Scapholunate ligament reconstruction. *J Wrist Surg.* 2013;2(2):110-5.
192. Luchetti R, Atzei A, Cozzolino R, Fairplay T. Current role of open reconstruction of the scapholunate ligament. *J Wrist Surg.* 2013;2(2):116-25.
193. Linscheid RL, Dobyns JH. Treatment of scapholunate dissociation. Rotatory subluxation of the scaphoid. *Hand Clin.* 1992;8(4):645-52.
194. Almquist E, Bach AW, Sack JT, Fuhs SE, Newman DM. Four-bone ligament reconstruction for treatment of chronic complete scapholunate separation. *J Hand Surg Am.* 1991;16:322-327.
195. Brunelli F, Spalvieri C, Bremner-Smith A, Papalia I, Pivato G. Dynamic correction of static scapholunate instability using an active tendon transfer of extensor carpi radialis brevis: preliminary report. *Chir Main.* 2004;23:249-253.
196. Papadogeorgou E, Mathoulin C. Extensor carpi radialis brevis ligamentoplasty and dorsal capsulodesis for the treatment of chronic post-traumatic scapholunate instability. *Chir Main.* 2010;29:172-179.
197. Bleuler P, Shafiqhi M, Donati OF, Gurunluoglu R, Constantinescu MA. Dynamic repair of scapholunate dissociation with extensor dorsal carpi radialis longus tenodesis. *J Hand Surg Am.* 2008;33:281-284.
198. Peterson SL, Freeland AE. Scapholunate stabilization with dynamic extensor carpi radialis longus tendon transfer. *J Hand Surg Am.* 2010;35(12):2093-100.
199. De Carli P, Donndorff AG, Gallucci GL, Boretto JG, Alfie VA. Chronic scapholunate dissociation: ligament reconstruction combining a new extensor carpi radialis longus tenodesis and a dorsal intercarpal ligament capsulodesis. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2011;15:6-11.

200. De Carli P, Donndorff AG, Torres MT, Boretto JG, Gallucci GL. Combined Tenodesis-Capsulodesis for Scapholunate Instability: Minimum 2-Year Follow-Up. *J Wrist Surg.* 2017;6(1):11-21.
201. Brunelli GA, Brunelli GR. A new technique to correct carpal instability with scaphoid rotary subluxation: a preliminary report. *J Hand Surg Am*, 20 (3 Pt 2) (1995), pp. S82-S85
202. Brunelli GA, Brunelli GA. Carpal instability with scapho-lunate dissociation treated using the flexor carpi radialis and scaphoid-trapezoid ligament repair: foundations, technique and results of preliminary series. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2003;89(2):152-7.
203. Van Den Abbeele KL, Loh YC, Stanley JK, Trail IA. Early results of a modified Brunelli procedure for scapholunate instability. *J Hand Surg Br.* 1998;23(2):258-261.
204. Henry M. Reconstruction of both volar and dorsal limbs of the scapholunate interosseous ligament. *J Hand Surg Am.* 2013;38:1625-1634.
205. Corella, Del Cerro M, Ocampos M, Larrainzar-Garijo R. Arthroscopic ligamentoplasty of the dorsal and volar portions of the scapholunate ligament. *J Hand Surg Am.* 2013;38:2466-2477.
206. Corella F, Del Cerro M, Larrainzar-Garijo R, Vázquez T. Arthroscopic ligamentoplasty (bone-tendon-tenodesis). A new surgical technique for scapholunate instability: preliminary cadaver study. *J Hand Surg Eur Vol.* 2011;36(8):682-9.
207. Bain GI, Watts AC, McLean J, Lee YC, Eng K. Cable-augmented, quad ligament tenodesis scapholunate reconstruction: rationale, surgical technique and preliminary results. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2013;17:13-19.
208. De Smet L, Goeminne S, Degreef I. Does the “three-ligament tenodesis” procedure restore carpal architecture in static chronic scapholunate dissociation? *Acta Orthop Belg.* 2013;79:271-274.

209. Pauchard N, Dederichs A, Segret J, Barbary S, Dap F, Dautel G. The role of three-ligament tenodesis in the treatment of chronic scapholunate instability. *J Hand Surg Eur.* 2013;38:758-766.
210. Athlani L, Pauchard N, Dap F, Dautel G. Treatment of chronic scapholunate instability: Results with three-ligament tenodesis vs. scapholunate and intercarpal ligamentoplasty. *Hand Surg Rehabil.* 2019;38(3):157-164.
211. Burnier M, Jethanandani R, Pérez A, Meyers K, Lee S, Wolfe SW. Comparative Analysis of 3 Techniques of Scapholunate Reconstruction for Dorsal Intercalated Segment Instability. *J Hand Surg Am.* 2021;46(11):980-988.
212. Elsaftawy A, Jabłęcki J, Jurek T, Domanasiewicz A, Gworys B. New concept of scapholunate dissociation treatment and novel modification of Brunelli procedure - anatomical study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2014;23,15:172.
213. Athlani L, Pauchard N, Dautel G. Outcomes of scapholunate intercarpal ligamentoplasty for chronic scapholunate dissociation: a prospective study in 26 patients. *J Hand Surg Eur Vol.* 2018;43(7):700-707.
214. Rosenwasser MP, Miyasajsa KC, Strauch RJ. The RASL procedure: reduction and association of the scaphoid and lunate using the Herbert screw. *Tech Hand Up Extrem Surg,* 1997;1(4):263-272.
215. Green DP. Dislocation and ligamentous injuries of the wrist. En: Mc Collister E, ed. *Surgery of the musculo-skeletal systems.* 2 ed. Chicago: Curchill Livingstone, 1990;vol 1:449
216. Thornton T. Fractures of the carpal scaphoid. *Cyprus Med J.* 1952;5(4):813-5.
217. Fortin PT, Louis DS. Long-term follow-up of scaphoid-trapezium-trapezoid arthrodesis. *J Hand Surg* 1993;18-A(4):675-81.
218. Peterson HA, Lipscomb PR. Intercarpal arthrodesis. *Arch Surg.* 1967;95(1):127-34.
219. Watson HK, Ryu J, Akelman E. Limited triscaphoid intercarpal arthrodesis for rotatori subluxation of the scaphoid. *J Bone Joint Surg* 1986;68-A(3):345-9.

220. Hom S, Ruby LK. Attempted scapholunate arthrodesis for chronic scapholunate dissociation. *J Hand Surg Am.* 1991;16(2):334-339.
221. Watson HK, Belniak R, Garcia-Elias M. Treatment of scapholunate dissociation: preferred treatment—STT fusion vs other methods. *Orthopedics.* 1991;14(3):365-368.
222. Douglas DP, Peimer CA, Koniuch MP. Motion of the wrist after simulated limited intercarpal arthrodeses. An experimental study. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69(9):1413-1418.
223. Viegas SF, Patterson RM, Peterson PD. Evaluation of the biomechanical efficacy of limited intercarpal fusions for the treatment of scapho-lunate dissociation. *J Hand Surg Am.* 1990;15(1):120-128.
224. Krakauer JD, Bishop AT, Cooney WP. Surgical treatment of scapholunate advanced collapse. *J Hand Surg Am.* 1994;19(5):751-9.
225. Trail IA, Murali R, Stanley JK, Hayton MJ, Talwalkar S, Sreekumar R, Birch A. The long-term outcome of four-corner fusion. *J Wrist Surg.* 2015;4(2):128-33.
226. Kendall CB, Brown TR, Millon SJ, Rudisill LE Jr, Sanders JL, Tanner SL. Results of four-corner arthrodesis using dorsal circular plate fixation. *J Hand Surg Am.* 2005;30(5):903-7.
227. Kraisarin J, Dennison DG, Berglund LJ, An KN, Shin AY. Biomechanical comparison of three fixation techniques used for four-corner arthrodesis. *J Hand Surg Eur Vol.* 2011;36(7):560-7.
228. Wall LB, Stern PJ. Proximal row carpectomy. *Hand Clin.* 2013;29(1):69-78.
229. M.S. Cohen, S.H. Kozin. Degenerative arthritis of the wrist: proximal row carpectomy versus scaphoid excision and four-corner arthrodesis. *J Hand Surg Am.* 2001;26(1):94-104
230. Martini AK. Wrist joint arthrodesis. Technique and outcome. *Orthopade.* 1999;28(10):907-912.
231. Campbell CJ, Keokarn T. Total and subtotal arthrodesis of de wrist. *J Bone Joint Surg Am.* 1964;46:1520-33.

232. Berling SE, Kiefhaber TR, Stern PJ. Hardware-related complications following radiocarpal arthrodesis using a dorsal plate. *J Wrist Surg.* 2015;4:56–60
233. Fuchs S, Achinger R. Outcome of total arthrodesis of the hand. *Unfallchirurg.* 1995 Jun;98(6):350-4.
234. Eaton RG, Strickland JW, Taleisnik J. Carpal replacement or arthrodesis? *Contemp Orthop.* 1992;24(3):337-68.
235. Rehart S, Kerschbaumer F. Endoprostheses of the hand]. *Orthopade.* 2003;32(9):779-83.
236. Cai X, Ding J, Xu Y. Research progress of artificial wrist joint prosthesis. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2018;15;32(4):501-504.
237. Swanson AB. Flexible implant arthroplasty for arthritic disabilities of the radiocarpal joint. A silicone rubber intramedullary stemmed flexible hinge implant for the wrist joint. *Orthop Clin North Am.* 1973.;4(2):383-94.
238. Kraay MJ, Figgie MP Wrist arthroplasty with the trispherical total wrist prosthesis. *Semin Arthroplasty.* 1995;6(1):37–43.
239. Chakrabarti I Universal 2 total wrist arthroplasty. *J Hand Microsurg.* 2009;1(2):100–102.
240. Bidwai AS, Cashin F, Richards A. Short to medium results using the remotion total wrist replacement for rheumatoid arthritis. *Hand Surg.* 2013;18(2):175–178.
241. Schmidt I Combined replacements using the Maestro total wrist and uHead ulnar head implants. *J Hand Surg Eur Vol.* 2015;40(7):754–755.
242. Kennedy CD, Huang JI. Prosthetic design in total wrist arthroplasty. *Orthop Clin North Am.* 2016;47:207–18.
243. Bellemère P, Maes-Clavier C, Loubersac T, Gaisne E, Kerjean Y, Collon S. Pyrocarbon interposition wrist arthroplasty in the treatment of failed wrist procedures. *J Wrist Surg.* 2012;1(1):31-8.
244. Wilhelm A. Denervation of the wrist. *Langenbecks Arch Chir.* 1967;319:478-81.
245. Omori S, Moritomo H, Omokawa S, Murase T, Sugamoto K, Yoshikawa H. In vivo 3-dimensional analysis of dorsal intercalated segment instability deformity

- secondary to scapholunate dissociation: a preliminary report. *J Hand Surg Am.* 2013;38(7):1346-1355.
246. Latarjet M. Treatment of recurrent dislocation of the shoulder. *Lyon Chir.* 1954; 49:994–997.
247. Pollock PJ, Sieg RN, Baechler MF, Scher D, Zimmerman NB, Dubin NH. Radiographic evaluation of the modified Brunelli technique versus the Blatt capsulodesis for scapholunate dissociation in a cadaver model. *J Hand Surg Am.* 2010;35(10):1589-98.
248. Lee SK, Desai H, Silver B, Dhaliwal G, Paksima N. Comparison of radiographic stress views for scapholunate dynamic instability in a cadaver model. *J Hand Surg Am.* 2011 Jul;36(7):1149-57
249. Berger RA, Bishop AT. A fiber-splitting capsulotomy technique for dorsal exposure of the wrist. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 1997;1(1):2-10.
250. Naqui Z, Khor WS, Mishra A, Lees V, Muir L. The management of chronic non-arthritis scapholunate dissociation: a systematic review. *J Hand Surg Eur Vol.* 2018; 43(4):394-401.
251. Imada AO, Eldredge J, Wells L, Moneim MS. Review of surgical treatment for chronic scapholunate ligament reconstruction: a long-term study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2023;33(4):787-793.
252. Montgomery SJ, Rollick NJ, Kubik JF, Meldrum AR, White NJ. Surgical outcomes of chronic isolated scapholunate interosseous ligament injuries: a systematic review of 805 wrists. *Can J Surg.* 2019;62(3):1–12.
253. Moran SL, Ford KS, Wulf CA, Cooney WP. Outcomes of dorsal capsulodesis and tenodesis for treatment of scapholunate instability. *J Hand Surg.* 2006;31:1438–1446.
254. Chabas J-F, Gay A, Valenti D, Guinard D, Legre R. Results of the modified Brunelli tenodesis for treatment of scapholunate instability: a retrospective study of 19 patients. *J Hand Surg.* 2008;33:1469–1477.

255. Burgess RC. The effect of rotatory subluxation of the scaphoid on radio-scaphoid contact. *J Hand Surg Am.* 1987;12(5Pt1):771-4. Steve KL, Dan AZ, Anthony S, Raj K, Jeffrey Y. Biomechanical comparison of 3 methods of scapholunate ligament reconstruction. *J Hand Surg.* 2014;39:643–650
256. Steven LM, William PC, Richard AB, Justin S. Capsulodesis for the treatment of chronic scapholunate instability. *J Hand Surg.* 2005;30:16–23
257. Daly LT, Daly MC, Mohamadi A, Chen N. Chronic Scapholunate Interosseous Ligament Disruption: A Systematic Review and Meta-Analysis of Surgical Treatments. *Hand (N Y).* 2020;15(1):27-34.
258. Payet E, Bourguignon D, Auquit-Auckbur I, Duparc F, Dujardin F. Radiographic evaluation of a novel horizontal dorsal intercarpal capsulodesis as a treatment of pre-arthritic scapholunate dissociation: a cadaver study. *J Hand Surg Eur Vol.* 2015; 40(5):502-11.
259. Davis CA, Culp RW, Hume EL, Osterman AL. Reconstruction of the scapholunate ligament in a cadaver model using a bone-ligament-bone autograft from the foot. *J Hand Surg Am.* 1998;23(5):884-92.
260. Hsu JW, Kollitz KM, Jegapragasan M, Huang JI. Radiographic evaluation of the modified Brunelli technique versus a scapholunotriquetral transosseous tenodesis technique for scapholunate dissociation. *J Hand Surg Am.* 2014; 39(6):1041-9.

10. ANEXOS

10. ANEXOS

10.1 Actividades del doctorando

- i. Publicación de artículo en revista con factor de impacto contrastado con resultados de la tesis doctoral: (2023)
 - Referencia: Cañadillas-Rueda R, Sánchez-Agesta C, Villazán-Cervantes MÁ, Roda-Murillo O, Sánchez-Montesinos-García I, Hernández-Cortés P. Radiographic evaluation of radial flexion osteotomy effect on static scapholunate instability: a preliminary cadaveric study. Arch Orthop Trauma Surg. 2024 Feb;144(2):975-984. doi: 10.1007/s00402-023-05124-1. Epub 2023 Dec 8. PMID: 38063881.
 - Revista: Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery
 - Editorial: Springer-Verlag GmbH Germany (Springer Nature Group)
 - ISSN: 1434-3916
 - Factor de Impacto: 2,3 (2023)
 - Q1 SCImago Journal Rank (SJCR), últimos 10 años.
 - Q1 Surgery
 - Q1 Orthopaedic and sports medicine
 - Q1 Miscellaneous
- ii. Contribución en congresos y mentorización: Impartición de un seminario sobre su tesis en sesión clínica conjunta de las dos Unidades de Cirugía de Miembro Superior de los dos hospitales de Granada: HVN y H. Clínico. (2021)
- iii. Asistencia a cursos, congresos y conferencias:

- Cursos monográficos:
 - Curso Yo sigo publicando. Publicar en inglés o morir. (2020)
 - Curso Teórico Práctico de Microcirugía. Fundación SATO (2022)
- Cursos acreditados por la Comisión de Formación Continuada del Sistema Nacional de Salud:

- Programa formativo en competencias avanzadas en investigación clínica.

| Metodología en la investigación clínica. (2021)

- Metodología de la Investigación Basada en la Evidencia (2024)

- Programa formativo en competencias actualizadas en investigación clínica | Lectura y comprensión de contenidos científicos (2024)

- Programa formativo en competencias avanzadas de investigación clínica

| Búsqueda bibliográfica: aspectos generales y uso de PubMed (2024)

- Programa formativo en competencias avanzadas investigación clínica |

¿Cómo escribir artículos científicos, abstracts y pósters? (2024)

- Programa formativo en competencias avanzadas en investigación clínica

| Investigación clínica (2024)

- Asistencia a Congresos:

- L, LI y LII Congreso de la Sociedad Andaluza de Traumatología y Ortopedia (2021, 2022 y 2023).

- 58º, 59º y 60º Congreso de la Sociedad Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología (2021, 2022 y 2023).

iv. Otras actividades de formación relacionadas:

- Máster Universitario en patología de la mano, Universidad Internacional de Andalucía (2020)

10.2 Glosario

1. SLIL: Ligamento interóseo escafosemilunar
2. LTIL: Ligamento interóseo lunopiramidal
3. STT: Área articular escafo-trapecio-trapezoidal
4. ET: Ligamento escafo-trapecial
5. REHG: Ligamento radio-escafo-hueso grande
6. TFCC: Complejo fibrocartílogo triangular
7. DISI: Inestabilidad dorsal del segmento intercalado
8. VISI: Inestabilidad volar del segmento intercalado
9. SLAC: Colapso avanzado escafosemilunar
10. SL: Escafosemilunar
11. EWAS: European Wrist Arthroscopy Society
12. Rx: Radiografía
13. TAC: Tomografía axial computarizada
14. MDCT: Tomografía computarizada multidetector
15. RNM: Resonancia nuclear magnética
16. CBCT: Tomografía computarizada de haz cónico
17. ECRB: tendón *Extensor carpi radialis brevis*, extensor radial corto del carpo
18. ECRL: tendón *Extensor carpi radialis longus*, extensor radial largo del carpo
19. FCR: tendón *Flexor carpi radialis*, flexor radial del carpo.
20. PL: tendón *Palmaris longus*, palmar menor.
21. EPL: tendón *Extensor pollicis longus*, extensor largo del pulgar
22. APL: tendón *Abductor pollicis longus*, abductor largo del pulgar.
23. EDC: tendón *Extensor digitorum communis*, extensor común de los dedos
24. EIP: tendón *Extensor indicis proprius*, extensor propio del índice.
25. ECU: tendón *Extensor carpi ulnaris*, extensor cubital del carpo.
26. FCU: tendón *Flexor carpi ulnaris*, flexor cubital del carpo.

27. LDIC: Ligamento intercarpiano dorsal.
28. LRCD: Ligamento radiocarpiano dorsal.
29. MTC: Metacarpiano
30. RASL: Reducción y asociación escafosemilunar
31. H_0 : Hipótesis nula
32. H_1 : Hipótesis alternativa
33. Lb: Libras
34. N: Newton
35. Kg: Kilogramos
36. Mm: milímetros
37. Cm: centímetros
38. °: Grados sexagesimales
39. AP: Anteroposterior
40. PA: Pósterioanterior
41. L: Lateral
42. Fig: Figura
43. GAP: Espacio ó intervalo
44. APN: Proyección anteroposterior neutra
45. APCP: Proyección anteroposterior en desviación cubital pasiva
46. APRP: Proyección anteroposterior en desviación radial pasiva
47. APR: Proyección anteroposterior bajo tracción de los tendones radiales
48. APECU: Proyección anteroposterior bajo tracción del tendón extensor cubital del carpo
49. APFCR: Proyección anteroposterior bajo tracción del tendón flexor radial del carpo
50. APFCU: Proyección anteroposterior bajo tracción del tendón flexor cubital del carpo
51. LN: Proyección lateral neutra
52. LE: Proyección lateral en extensión
53. LF: Proyección lateral en flexión

54. LFCR: Proyección lateral en flexión bajo tracción del tendón flexor radial del carpo
55. DRJCC: Distal radius joint concavity circle
56. SPPCC: Scaphoid proximal pole convexity circle
57. DST: Traslación dorsal del escafoides
58. LEAPN: Longitud normalizada del escafoides en proyección AP neutra.
59. GAPSLAPN: Gap escafosemilunar normalizado en proyección AP neutra.
60. LEAPCP: Longitud normalizada del escafoides en proyección AP en desviación cubital pasiva.
61. GAPSLAPCP: Gap escafosemilunar normalizado en proyección AP en desviación cubital pasiva.
62. LEAPNRP: Longitud normalizada del escafoides en proyección AP en desviación radial pasiva.
63. GAPSLAPRP: Gap escafosemilunar normalizado en proyección AP en desviación radial pasiva.
64. LEAPFCU: Longitud normalizada del escafoides en proyección AP bajo tracción del tendón *flexor carpi ulnaris*.
65. GAPSLAPFCU: Gap escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del tendón *flexor carpi ulnaris*.
66. LEAPR: Longitud normalizada del escafoides en proyección AP bajo tracción de los tendones *extensor carpi radialis longus y brevis*.
67. GAPSLAPR: GAP escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción de los tendones *extensor carpi radialis longus y brevis*.
68. LEAPECU: Longitud normalizada del escafoides en proyección AP bajo tracción del tendón *extensor carpi ulnaris*
69. GAPSLAPECU: Gap escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del tendón *extensor carpi ulnaris*.
70. LEAPFCR: Longitud normalizada del escafoides en proyección AP bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*.

71. GAPSLAPFCR: Gap escafosemilunar normalizado en proyección AP bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*.
72. AIPRDLN: Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral neutra
73. ASLLN: Ángulo escafosemilunar en proyección lateral neutra.
74. ARLLN: Ángulo radiolunar en proyección lateral neutra.
75. LELN: Longitud del escafoides en proyección lateral neutra.
76. DSTLN: Subluxación normalizada del polo proximal del escafoides en proyección lateral neutra.
77. AIPRDLE: Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral en extensión.
78. ASLLE: Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en extensión.
79. ARLLE: Ángulo radiolunar en proyección lateral en extensión.
80. LELE: Longitud del escafoides en proyección lateral en extensión.
81. DSTLE: Subluxación normalizada del polo proximal del escafoides en proyección lateral en extensión.
82. AIPRDLF: Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral en flexión.
83. ASLLF: Ángulo escafosemilunar en proyección lateral en flexión.
84. ARLLF: Ángulo radiolunar en proyección lateral en flexión.
85. LELF: Longitud del escafoides en proyección lateral en flexión.
86. DSTLF: Subluxación normalizada del polo proximal del escafoides en proyección lateral en flexión.
87. AIPRDLFCR: Ángulo de inclinación palmar del radio distal en proyección lateral bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*.
88. ASLLFCR: Ángulo escafosemilunar en proyección lateral bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*
89. ARLLFCR: Ángulo radiolunar en proyección lateral bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*.

90. LELFCR: Longitud del escafoides en proyección lateral bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*.
91. DSTLFCR: Subluxación normalizada del polo proximal del escafoides en proyección lateral bajo tracción del tendón *flexor carpi radialis*.
92. SDRC: Síndrome de dolor regional complejo.

10.3 Índice de tablas

Tabla 1: Clasificación de Mayo de las inestabilidades carpianas	Pág. 80
Tabla 2: Clasificación de Mayfield de la inestabilidad perilunar	Pág. 86
Tabla 3: Clasificación de Schmitt de la inestabilidad escafosemilunar	Pág. 104
Tabla 4: Clasificación de la inestabilidad escafosemilunar de García Elías	Pág. 106
Tabla 5: Ángulos patológicos en la inestabilidad del escafosemilunar	Pág. 114
Tabla 6: Proyecciones incluidas en el estudio radiológico	Pág. 205
Tabla 7: Variables del estudio	Pág. 210
Tabla 8: Variables según las proyecciones del estudio	Pág. 211
Tabla 9: Medición de parámetros en fase 1 en APN, APCP y APRP	Pág. 219
Tabla 10: Medición de parámetros en fase 1 en APR y APECU	Pág. 220
Tabla 11: Medición de parámetros en fase 1 en APFCU y APFCR	Pág. 221
Tabla 12: Medición de parámetros en fase 1 en LN y LE	Pág. 222
Tabla 13: Medición de parámetros en fase 1 en LF y LFCR	Pág. 223
Tabla 14: Valores medios de los estadísticos descriptivos en fase 1	Pág. 224
Tabla 15: Medición de parámetros en fase 2 en APN, APCP y APRP	Pág. 232
Tabla 16: Medición de parámetros en fase 2 en APR y APECU	Pág. 233
Tabla 17: Medición de parámetros en fase 2 en APFCU y APFCR	Pág. 234
Tabla 18: Medición de parámetros en fase 2 en LN y LE	Pág. 235
Tabla 19: Medición de parámetros en fase 2 en LF y LFCR	Pág. 236
Tabla 20: Valores medios de los estadísticos descriptivos en fase 2	Pág. 237
Tabla 21: Medición de parámetros en fase 3 en APN, APCP y APRP	Pág. 250
Tabla 22: Medición de parámetros en fase 3 en APR y APECU	Pág. 251
Tabla 23: Medición de parámetros en fase 3 en APFCU y APFCR	Pág. 252
Tabla 24: Medición de parámetros en fase 3 en LN y LE	Pág. 253
Tabla 25: Medición de parámetros en fase 3 en LF y LFCR	Pág. 254
Tabla 26: Valores medios de los estadísticos descriptivos en fase 3	Pág. 255
Tabla 27: Resultados de las variables en proyección AP en las fases 1 y 2	Pág. 265

Tabla 28: Test de Wilcoxon para variables AP, fases 1 vs. 2	Pág. 266
Tabla 29: Resultados de las variables en proyección L en las fases 1 y 2	Pág. 267
Tabla 30: Test de Wilcoxon para variables L, fases 1 vs. 2	Pág. 268
Tabla 31: Resultados de las variables en proyección AP en las fases 2 y 3	Pág. 269
Tabla 32: Test de Wilcoxon para variables AP, fases 2 vs. 3	Pág. 270
Tabla 33: Resultados de las variables en proyección L en las fases 2 y 3	Pág. 272
Tabla 34: Test de Wilcoxon para variables L, fases 2 vs. 3	Pág. 272
Tabla 35: Resultados de las variables en proyección AP en las fases 1 y 3	Pág. 274
Tabla 36: Test de Wilcoxon para variables AP, fases 1 vs. 3	Pág. 275
Tabla 37: Resultados de las variables en proyección L en las fases 1 y 3	Pág. 276
Tabla 38: Test de Wilcoxon para variables L, fases 1 vs. 3	Pág. 277

10.4 Índice de figuras

Fig. 1 Osteología del carpo	Pág. 27
Fig. 2 Radiografía anteroposterior del hueso escafoides	Pág. 28
Fig. 3 Radiografía lateral del hueso escafoides	Pág. 28
Fig. 4 Radiografía anteroposterior del hueso semilunar	Pág. 29
Fig. 5 Radiografía lateral del hueso semilunar	Pág. 30
Fig. 6 Radiografía anteroposterior del hueso piramidal	Pág. 31
Fig. 7 Radiografía lateral del hueso piramidal	Pág. 31
Fig. 8 Radiografía anteroposterior del hueso pisiforme	Pág. 32
Fig. 9 Radiografía lateral del hueso pisiforme	Pág. 32
Fig. 10 Radiografía anteroposterior del hueso trapecio	Pág. 33
Fig. 11 Radiografía lateral del hueso trapecio	Pág. 34
Fig. 12 Radiografía anteroposterior del hueso trapezoide	Pág. 35
Fig. 13 Radiografía lateral del hueso trapezoide	Pág. 35
Fig. 14 Radiografía anteroposterior del hueso grande	Pág. 36
Fig. 15 Radiografía lateral del hueso grande	Pág. 36
Fig. 16 Radiografía anteroposterior del hueso ganchoso	Pág. 37
Fig. 17 Radiografía lateral del hueso ganchoso	Pág. 38
Fig. 18 Ligamentos carpianos intrínsecos	Pág. 40
Fig. 19 Ligamento escafosemilunar	Pág. 41
Fig. 20 Regiones del ligamento escafosemilunar	Pág. 42
Fig. 21 Ligamento lunopiramidal	Pág. 43
Fig. 22 Regiones del ligamento lunopiramidal	Pág. 44
Fig. 23 Ligamentos del área escafo-trapecio-trapezoidal	Pág. 45
Fig. 24 Ligamentos carpianos extrínsecos volares	Pág. 49
Fig. 25 Ligamentos carpianos extrínsecos dorsales	Pág. 50
Fig. 26 Articulación radiocarpiana	Pág. 52
Fig. 27 Articulación mediocarpiana	Pág. 53

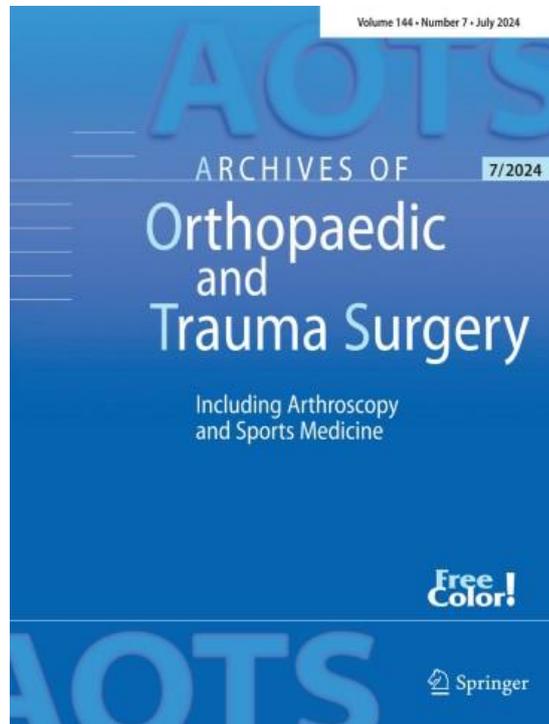
Fig. 28 Articulaciones carpometacarpianas	Pág. 54
Fig. 29 Movimiento de “lanzador de dardos”	Pág. 55
Fig. 30 Disposición oblicua de los tendones antagonistas	Pág. 56
Fig. 31 Segmento intercalado	Pág. 57
Fig. 32 Teoría de las hileras de Johnston	Pág. 59
Fig. 33 Teoría de las columnas de Navarro	Pág. 60
Fig. 34 Teoría del tornillo o de la abrazadera de Macconail	Pág. 61
Fig. 35 Teoría de las columnas de Navarro modificada por Taleisnik	Pág. 62
Fig. 36 Teoría del anillo oval de Lichtman	Pág. 63
Fig. 37 Teoría de las columnas de Weber	Pág. 64
Fig. 38 Teoría del “balanced lunare”	Pág. 66
Fig. 39 Radiografía lateral inestabilidad DISI	Pág. 75
Fig. 40 Radiografía lateral inestabilidad VISI	Pág. 76
Fig. 41 Clasificación de la inestabilidad según Taleisnik	Pág. 78
Fig. 42 Subregiones del SLIL	Pág. 88
Fig. 43 Estructura histológica del SLIL	Pág. 89
Fig. 44 Muñeca SLAC	Pág. 96
Fig. 45 Maniobra de resalte del polo proximal del escafoides	Pág. 98
Fig. 46 Test de Watson	Pág. 99
Fig. 47 Ballontement test	Pág. 100
Fig. 48 Signo de Terry-Thomas	Pág. 111
Fig. 49 Líneas de Gilula	Pág. 112
Fig. 50 Arco mayor y menor del carpo	Pág. 113
Fig. 51 Mediciones angulares en proyección lateral de muñeca	Pág. 115
Fig. 52 Signo del anillo	Pág. 117
Fig. 53 Imagen axial TAC de la disociación escafosemilunar	Pág. 122
Fig. 54 Imagen sagital TAC de la disociación escafosemilunar	Pág. 122
Fig. 55 Imagen axial RMN supresión grasa	Pág. 125
Fig. 56 Imagen axial RMN T2	Pág. 126

Fig. 57 Imagen coronal RMN	Pág. 126
Fig. 58 Imágen sagital RMN. Subluxación dorsal del escafoides.	Pág. 127
Fig. 59 Imágen sagital RMN. Inclinación dorsal del semilunar.	Pág. 127
Fig. 60 Tenodesis de Almquist	Pág. 141
Fig. 61 Tenodesis de Linscheid y Dobyns	Pág. 142
Fig. 62 Tenodesis de Brunelli	Pág. 143
Figl 63 Tenodesis de Papadogeorgoy y Mathoulin	Pág. 144
Fig. 64 Tenodesis de Bleuler y Peterson	Pág. 145
Fig. 65 Tenodesis de De Carli	Pág. 147
Fig. 66 Tenodesis de Brunelli & Brunelli	Pág. 149
Fig. 67 Tenodesis de Van Den Abbeele	Pág. 150
Fig. 68 Tenodesis de Henry	Pág. 152
Fig. 69 Tenodesis artroscópica de Corella	Pág. 154
Fig. 70 Tenodesis escafo-piramidal de Ross	Pág. 155
Fig. 71 Tenodesis del ligamento cuádruple de Bain	Pág. 157
Fig. 72 Tenodesis de tres ligamentos de García-Elías	Pág. 158
Fig. 73 Técnica de Elsftawy	Pág. 159
Fig. 74 Técnica de Pauchard y Dautel	Pág. 160
Fig. 75 Procedimiento RASL	Pág. 161
Fig. 76 Artrodesis radio-escafo-semilunar	Pág. 164
Fig. 77 Artrodesis triescafoidea	Pág. 165
Fig. 78 Artrodesis en 4 esquinas	Pág. 169
Fig. 79 Carpectomía de la hilera proximal. Imagen preoperatoria	Pág. 170
Fig. 80 Carpectomía de la hilera proximal. Imagen postperatoria	Pág. 170
Fig. 81 Artrodesis total de muñeca, proyección AP	Pág. 173
Fig. 82 Artrodesis total de muñeca, proyección lateral	Pág. 173
Fig. 83 Símil del Skater	Pág. 181
Fig. 84 Abordaje dorsal. Exposición del retináculo extensor	Pág. 191
Fig. 85 Abordaje dorsal. Sección del retináculo dorsal	Pág. 192

Fig. 86 Exposición de la cápsula dorsal	Pág. 193
Fig. 87 Capsulotomía dorsal. Colgajo de Berger y Bishop.	Pág. 194
Fig. 88 Sección del ligamento escafosemilunar	Pág. 195
Fig. 89 Identificación y referencia de los tendones ECU y ECRL-ECRB	Pág. 196
Fig. 90 Abordaje volar de la muñeca y tercio distal del antebrazo	Pág. 197
Fig. 91 Identificación de los tendones FCR y FCU	Pág. 198
Fig. 92 Identificación y referencia del ligamento REHG	Pág. 198
Fig. 93 Sección de los estabilizadores secundarios (REHG y STT)	Pág. 199
Fig. 94 Referencia de los tendones FCR y FCU	Pág. 200
Fig. 95 Dispositivo radiotransparente de fijación de las muestras	Pág. 201
Fig. 96 Fuerza de tracción controlada con dinamómetro digital	Pág. 201
Fig. 97 Osteotomía suprametafisaria en flexión del radio distal	Pág. 202
Fig. 98 Fijación de la osteotomía con placa y tornillos (AP)	Pág. 203
Fig. 99 Fijación de la osteotomía con placa y tornillos (lateral)	Pág. 203
Fig. 100 Parámetros evaluados en proyecciones AP: LE y GAPSL	Pág. 206
Fig. 101 Parámetros evaluados en proyecciones L: AIPRD, ASL, LE, DST y ARL	Pág. 207
Fig. 102 Medición del DST según el método de Chan (esquema)	Pág. 208
Fig. 103 Medición radiológica del DST según el método de Chan	Pág. 209
Fig. 104 Medición del ángulo SL con Angle Meter 360	Pág. 209
Fig. 105 Medición LE y GAPSL en APN, APDC y APDR en fase 1	Pág. 227
Fig. 106 Medición LE y GAPSL en APECU, APR, APFCU y APFCR en fase 1	Pág. 228
Fig. 107 Determinación del ángulo SL en fase 1	Pág. 229
Fig. 108 Medición del DST en LN en fase 1	Pág. 230
Fig. 109 Medición del DST en LE y LF en fase 1	Pág. 231
Fig. 110 Sección SLIL y Sección SLIL + Estabilizadores secundarios	Pág. 240
Fig. 111 Medición de LEN y GAPSLN en APN en fase 2	Pág. 241
Fig. 112 Medición de LEN y GAPSLN en APCP y APECU en fase 2	Pág. 242
Fig. 113 Medición de LEN y GAPSLN en APRP en fase 2	Pág. 243
Fig. 114 Medición de LEN y GAPSLN en APR en fase 2	Pág. 244

Fig. 115 Medición de LEN y GAPSLN en APFCU en fase 2	Pág. 245
Fig. 116 Medición de LEN y GAPSLN en APFCR en fase 2	Pág. 246
Fig. 117 Determinación del ángulo SL en las proyecciones L en fase 2	Pág. 247
Fig. 118 Aplicación del método de Chan en LFCR en las fases 1 y 2	Pág. 249
Fig. 119 Efecto de la osteotomía sobre la alineación del carpo	Pág. 258
Fig. 120 Medición de LEN y GAPSLN en APN en fase 3	Pág. 259
Fig. 121 Medición de LEN y GAPSLN en APCP y APECU en fase 3	Pág. 259
Fig. 122 Medición de LEN y GAPSLN en APRP y APFCR en fase 3	Pág. 260
Fig. 123 Comportamiento radiográfico del carpo en proyección APFCR comparativa de las tres fases del estudio	Pág. 261
Fig. 124 Comportamiento radiográfico del carpo en proyección L comparativa de las tres fases del estudio	Pág. 262
Fig. 125 Determinación del ángulo SL en las proyecciones L en fase 3	Pág. 263
Fig. 126 Aplicación del método de Chan para calcular el DST	Pág. 264

10.5 Artículo: Radiographic evaluation of radial flexion osteotomy effect on static scapholunate instability: a preliminary cadaveric study



Revista: Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery

Licencia de publicación: Springer-Verlag GmbH Germany, division de Springer Nature, 2023

ISSN: 09368051, 14343916

Primer Cuartil (Q1) de Cirugía, Ortopedia, Medicina deportiva y Medicina (miscelánea), 2023.

Impact factor: 2.3

Referencia: Cañadillas-Rueda R, Sánchez-Agosta C, Villazán-Cervantes MÁ, Roda-Murillo O, Sánchez-Montesinos-García I, Hernández-Cortés P. Radiographic evaluation of radial flexion osteotomy effect on static scapholunate instability: a preliminary cadaveric study. Arch Orthop Trauma Surg. 2024 Feb;144(2):975-984.

Epub 2023 Dec 8. PMID: 38063881.144:975–984.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00402-023-05124-1>

RADIOGRAPHIC EVALUATION OF RADIAL FLEXION OSTEOTOMY EFFECT ON STATIC SCAPHOLUNATE INSTABILITY: A PRELIMINARY CADAVERIC STUDY.

Short running page heading: RADIAL FLEXION OSTEOTOMY FOR SCAPHOLUNATE INSTABILITY

Rodrigo Cañadillas-Rueda, MD¹, Claudia Sánchez-Agesta, MD², M^a Ángeles Villazán-Cervantes, MD², Olga Roda, PhD³; Indalecio Sánchez-Montesinos García, PhD³; Pedro Hernández-Cortés, PhD^{2,4,5}.

1. Orthopedic Surgery Department. University Hospital of Jaen, Spain.
2. Surgery Department, School of Medicine, Granada University, Spain.
3. Department of Human Anatomy, School of Medicine, Granada University, Spain.
4. Upper Limb Surgery Unit. Orthopedic Surgery Department. University Hospital of Granada, Spain.
5. Biosanitary Research Institute of Granada.

Corresponding Author: Olga Roda Murillo.

Anatomy Department. School of Medicine of Granada

Avenida de la Investigación, 11. 18016 Granada, Spain.

orroda@ugr.es

Conflict of Interest: No.

Funding: No.

No Disclaimer.

All data collected and statistical analyzes performed are available for review.

All illustrations are originals and must be published in colour.

ABSTRACT

Introduction: The optimal treatment of chronic scapholunate instability has yet to be established. Scapholunate ligament grafts are still far from being the ideal solution.

We conducted an experimental study to evaluate whether flexion-opening wedge osteotomy of the distal radius improves misalignment and avoids rotatory subluxation of the scaphoid in a cadaveric model of static scapholunate dissociative instability.

Materials and Methods: Radiographic studies were performed on 15 cryopreserved specimens after recreating a model of scapholunate instability by division of the scapholunate interosseous ligament (SLIL) and secondary stabilizers, taking radiographs at baseline, after the instability model, and after distal radius osteotomy. Static and dynamic (under controlled tendon traction) anteroposterior and lateral views were obtained to measure the length (in mm) of the carpal scaphoid and scapholunate interval, scapholunate angle, radio-lunate angle, and palmar tilt of the distal joint surface of the radius and to measure the dorsal scaphoid translation by the concentric circles method. The Wilcoxon test was used for statistical comparisons.

Results: The scapholunate interval was significantly decreased after osteotomy in all static anteroposterior views and in all lateral views under tendon traction. Dorsal scaphoid translation was significantly reduced in static lateral view in extension and in dynamic lateral view under 5-pound flexor carpi radialis tendon tension controlled by a digital dynamometer.

Conclusion: Flexion-addition osteotomy of the distal radius appears to improve carpal alignment parameters in a cadaveric model of static scapholunate instability, achieving similar values to those obtained before instability

Key Words: Scapholunate instability; distal radius osteotomy; wrist biomechanics; radiographic assessment; carpal alignment.

INTRODUCTION

Scapholunate instability is a frequent cause of wrist pain [1] and can often develop into wrist arthrosis if not treated [2]. The scapholunate intrinsic ligament (SLIL) is the primary stabilizer of the scapholunate joint, while a major role in secondary stabilization is played by various adjacent carpal ligaments such as the dorsal radiocarpal and dorsal intercarpal, scaphotrapeziotrapezoid, and long radioscaphocapitate ligaments [3-6]. Both SLIL lesion and incompetent secondary stabilizers are necessary for static changes in scaphoid and lunate positions [6-8]. Therefore, scapholunate instability is not a single lesion but rather a spectrum of lesions that can affect different structures and has conventionally been classified as predynamic, dynamic, or static according to radiographic behavior [9], arthroscopic examination findings [10-12], and pathological criteria, including ligament remnant tissue, reducibility, or associated chondral damage [13].

Increased instability can lead to a gradual positioning of the scaphoid in palmar flexion and pronation and to its movement in dorsal and radial directions [14,15]. This results in an incongruence of the radius-scaphoid joint, whose contact area is reduced to an elliptic shape and relocated on the dorsal ridge of the radius [2,16]. The scaphoid could be described as acting like a skateboarder, hoisting itself onto the "skate ramp" represented by the dorsal lip of the radius. This finding is consistent with the scaphoid being the first joint affected in arthrosis by scapholunate advanced collapse (SLAC wrist) [17].

Numerous surgical treatments have been described for each stage of scapholunate instability from acute SLIL lesion to SLAC wrist. However, the optimal surgical procedure has yet to be established [18,19] for chronic scapholunate instability with no degenerative changes but irreparable SLIL (Stage 4) [13].

Treatments are often aimed at the repair or substitution of SLIL using soft tissue reconstruction procedures. Capsulodesis and tenodesis remain the most frequent surgical approaches to reconstruct SLIL instability [20]. However, capsulodesis is associated with postoperative lack of wrist flexion, minimal improvement in radiographic parameters, and

failure to preserve radiographic improvement over the long term [21,22]. Likewise, the association of tenodesis with progressive deterioration of carpal radiographic alignment means that 30% of patients require revision surgery, and the development of degenerative joint changes has been observed in up to 63% of patients with an apparently satisfactory surgical outcome [23,24].

We hypothesized that outcomes could be improved by a bone procedure that preserves the joint without soft tissue reconstruction. Accordingly, an experimental study was developed in a cadaveric model of static scapholunate dissociative instability to evaluate whether open wedge distal radius flexion-addition osteotomy improves misalignment and avoids rotatory scaphoid subluxation.

MATERIAL AND METHODS

In this experimental study, the effect of distal radius flexion osteotomy on carpal alignment was assessed by static and dynamic radiographic methods in a cadaveric model of scapholunate dissociation/instability. Fifteen cryopreserved specimens were used from eight individuals (four males and four females) aged between 58 and 78 years who had donated their bodies to science. The cadaveric upper extremities had no physical examination findings of interest or radiographic evidence of injury, instability, or degenerative changes. Eight right wrists and seven left wrists were dissected and treated after thawing at room temperature in the Department of Human Anatomy of the School of Medicine of the University of Granada (Spain) between October and December 2020. Baseline SLIL integrity was confirmed in all wrists upon their dissection.

Experimental procedures

1) Scapholunate instability model

The model published by Pollock et al. [25] and Lee et al. [26] was followed but without using an arthroscope. The *extensor retinaculum* was accessed by dorsal approach and divided between third and fourth compartments. After radial separation of the tendon of the *extensor pollicis longus* (EPL) and ulnar separation of the tendons of the *extensor digitorum comunis* and *extensor index propius*, a dorsal capsulotomy was performed, sacrificing the dorsal intercarpal and dorsal radiocarpal ligaments (secondary dorsal capsuloligamentous stabilizers). After exposing the proximal row of the carpus, the SLIL was sectioned with a scalpel into dorsal, membranous, and volar components, confirming that the isolated sectioning of this ligament was insufficient to cause static scapholunate instability. When previous SLIL damage was observed during the dissection (n=2), the specimen was excluded from the study. The tendon of the *flexor carpi radialis* (FCR) was then ulnarly displaced by volar approach to expose and section the long radioscaphocapitate and scaphotrapeziotrapezoid ligament complex (volar secondary stabilizers), observing the emergence of scaphoid rotatory subluxation.

One or more metal markers (heads of screws) of 4 mm diameter were inserted into the radius and carpal bones for the scaling of radiographic measurements. Radiographs in AP view in which the marker was perfectly circular and linear in lateral view were selected.

Before performing the instability model, tendons of the *extensor carpi radialis longus* (ECRL), *extensor carpi radialis brevis* (ECRB), and *extensor carpi ulnaris* (ECU) proximal to the *extensor retinaculum* were localized and labeled with 2-0 Vicryl suture in a dorsal approach. Tendons of the FCR and *flexor carpi ulnaris* (FCU) were identified in the same manner in a palmar approach. Specimens were stabilized on a radiotransparent table in horizontal position, and each labeled tendon was sequentially subjected to a load of 5 Lb measured by a digital dynamometer for the radiographic views in traction detailed below (Fig.

1). The order of sequential traction of the tendons was: ECRL and ECRB, ECU, FCU, and FCR.

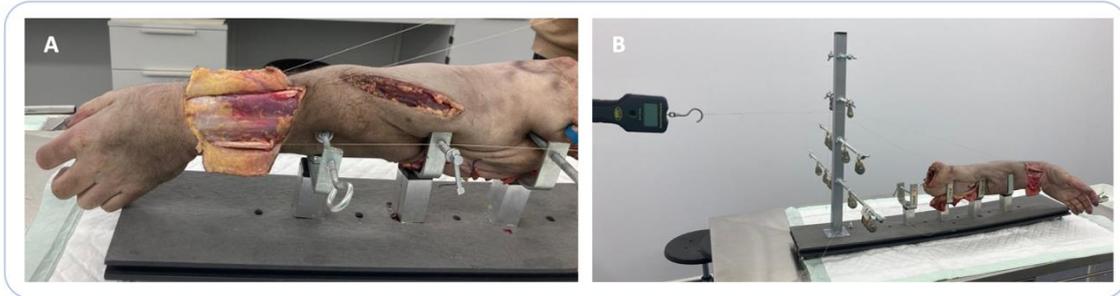


Fig. 1: A: Radiolucent specimen fixation device with pulleys for tendon traction. B: Traction force controlled with digital dynamometer

2) Distal radius flexion osteotomy

The same dorsal approach was used to extraperiostally expose the distal metaphysis of the radius. Next, dorsal opening wedge osteotomy was performed with 20° flexion from the original position of the distal joint surface of the radius, immediately proximal to the distal radioulnar joint, using a 10-mm oscillating saw and osteoclasis of the palmar cortex, followed by fixation with a screwed dorsal 5-hole plate

3) Radiographic evaluation

All procedures and measurements were performed on a radiotransparent hand table (Fig. 1) in the experimental operating room under biosafety conditions. The hand was held in a device whose screws passed through the ulna and radius (after drilling), preventing any variations in the position of the specimen or in the pronosupination of the forearm and thereby guaranteeing the reproducibility of measurements. Biplanar radioscopy with a C-arm fluoroscope (PHILIPS BV25) was used for carpal kinematic evaluation before and after the

instability model and after the radius flexion osteotomy. Radiographic images were captured in anteroposterior (AP) and lateral (L) views according to the following sequence: 1. AP view with no tendon traction in neutral alignment: maximum ulnar deviation and maximum radial deviation; 2. AP view in traction of ECRB and ECRL, ECU tendon, FCU tendon, and FCR tendon, successively; 3. L view without tendon traction in neutral, maximum extension, and maximum flexion; and 4. L view with FCR traction.

4) Instrument, measures, and variables

Images obtained in AP view were used to measure the apparent length (in mm) of the carpal scaphoid as indicator of scaphoid flexion and scapholunate interval, scaled using the metal radiographic markers.

Images in L view were used to determine the scapholunate angle, radiolunate, and palmar tilt of the distal joint surface of the radius in hexadecimal degrees and to measure the dorsal scaphoid translation (DST) by the concentric circles method [27]. Briefly, contours of the proximal scaphoid pole and scaphoid facet of the distal radius were outlined using an electronic circle template on the radiographic image (Fig. 2). The DST was determined as the distance between the centers of these circles parallel to the long axis of the radius.

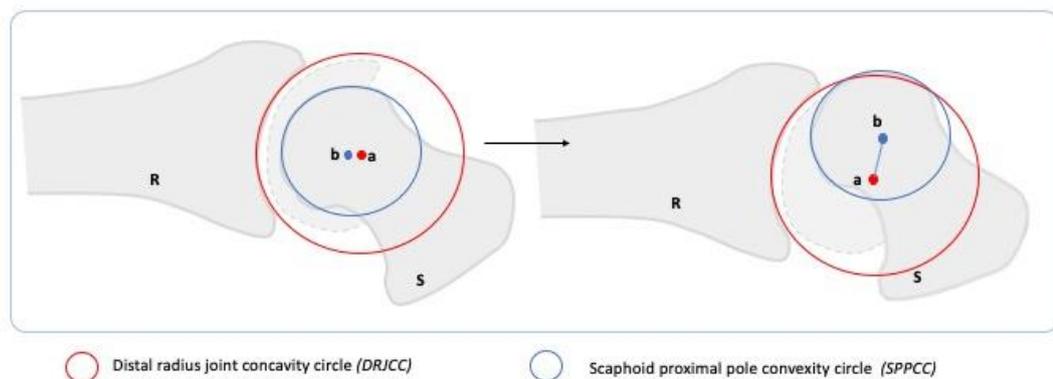


Fig. 2: Dorsal scaphoid translation (*DST*) measurement published by Chan (2019); **a**: center of DRJCC; **b**: center of SPPCC; **ab** distance: DST; **R**: Radius; **S**: Scaphoid

Radiographic measurements were performed by two independent observers using Angle Meter 360 software version 19 developed by Alexey Kozlov, considering the mean results in analyses.

5) Statistical analysis

SPSS v.25.0. (IBM Corp., Armonk NY) was used for statistical analyses. Results were expressed as means \pm standard deviation. The Wilcoxon test was applied to compare results before and after the instability model and after the experimental treatment. An α error of 5% was accepted with 95% confidence interval, considering $p < 0.05\%$ to be significant.

RESULTS

Tables 1-4 exhibit the radio-kinematic values obtained and the statistical significance of comparisons.

1) Radio-kinematic behavior of the carpus after performing the instability model

Isolated SLIL sectioning produced only subtle visual changes in scaphoid alignment. Evident flexion was solely observed after the additional sectioning of secondary scapholunate stabilizers, especially the scaphotrapeziotrapezoid ligament.

The radioscopy study in AP view (Table 1) confirmed that the whole proximal row of the carpus was extended in maximum passive ulnar deviation and in traction of the ECU tendon, with maximum scaphoid length and increased scapholunate interval. In contrast, the proximal row of the carpus was flexed in maximum passive radial deviation, observing

emergence of the ring sign. Scaphoid flexion further increased with respect to passive radial deviation in FCR traction, when radioscopy showed a decrease in scaphoid length, increase in scapholunate interval, and dorsoradial subluxation of the scaphoid on the radius. FCU traction also induced scaphoid flexion, although this was less marked and there was a smaller increase in scapholunate interval. ECRB and ECRL traction reversed the misalignment, producing scaphoid extension, ring sign correction, and scapholunate interval reduction.

STEP	Variable	APN	APR	APU	APECR	APECU	APFCU	APFCR
1	Scaphoid length	20.47 ± 3.02	21.17 ± 5.58	27.92 ± 4.18	22.80 ± 3.49	26.06 ± 5.11	20.94 ± 4.65	15.82 ± 2.32
	Scapholunate interval	1.76 ± 0.46	1.88 ± 0.41	1.86 ± 1	1.79 ± 0.67	2.25 ± 0.71	1.96 ± 0.68	1.19 ± 0.92
2	Scaphoid length	20.71 ± 2.76	18.72 ± 4.42	27.3 ± 3.55	21.87 ± 4.58	27.22 ± 6.78	21.08 ± 3.81	15.55 ± 3.98
	Scapholunate interval	2.36 ± 1.64	2.75 ± 1.48	3.23 ± 1.25	2.52 ± 1.3	3.49 ± 2.48	2.77 ± 0.81	4.02 ± 2.62
3	Scaphoid length	23.77 ± 3.96	21.56 ± 3.72	27.22 ± 3.21	21.9 ± 4.73	25.19 ± 1.76	20.92 ± 3.88	14.32 ± 2.28
	Scapholunate interval	1.35 ± 0.62	1.08 ± 0.55	1.72 ± 0.85	1.35 ± 1.06	1.5 ± 0.59	1.86 ± 0.55	1.29 ± 0.87

Table 1. Measurements (mm) means ± standard deviation in anteroposterior (AP) view. APN: AP view in neutral wrist position; APR: AP view in radial deviation; APU: AP view in ulnar deviation; APECR: AP view in *Extensor Carpi Radialis* tendon traction; APECU: AP view in *Extensor Carpi Ulnaris* tendon traction; APFCU: AP view in *Flexor Carpi Ulnaris* tendon traction; APFCR: AP view in *Flexor Carpi Radialis* tendon traction; A: Baseline. B: Instability model step; C: Flexion Osteotomy step

As observed in Table 2, the scapholunate gap was significantly increased in the instability model in all AP views except in radial deviation and in traction of ECRB and ECRL. However, no significant differences in scaphoid length were found between baseline (step A) and post-ligament sectioning (step B).

	Variable	APN	APR	APU	APECR	APECU	APFCU	APFCR
1 vs 2	Scaphoid length	0.553	0.310	0.028	0.917	0.917	0.279	0.449
	Scapholunate interval	0.173	0.125	0.043	0.528	0.066	0.026	0.063
2 vs 3	Scaphoid length	0.055	0.131	0.937	0.755	0.594	0.754	0.154
	Scapholunate interval	0.024	0.004	0.003	0.003	0.005	0.004	0.04
1 vs 3	Scaphoid length	0.042	0.735	0.611	0.600	0.917	0.612	0.553
	Scapholunate interval	0.680	0.058	0.309	0.167	0.138	0.197	0.248

Table 2. P value by Wilcoxon test for differences in scaphoid length and scapholunate interval in anteroposterior (AP) view between baseline situation and instability model (AvsB), between instability model and after flexion osteotomy (BvsC), and between baseline and flexion osteotomy. APN: AP view in neutral wrist position; APR: AP view in radial deviation; APU: AP view in ulnar deviation; APECR: AP view in *Extensor Carpi Radialis* tendon traction; APECU: AP view in *Extensor Carpi Ulnaris* tendon traction; APFCU: AP view in *Flexor Carpi Ulnaris* tendon traction; APFCR: AP view in *Flexor Carpi Radialis* tendon traction; A: Baseline; B: Instability model step; C: Flexion Osteotomy step. Shaded box = statistically significant difference.

In L views, the scapholunate angle was always increased after performing the instability model (Table 3), observing the highest scapholunate angles with wrist flexion and FCR traction ($87.81^{\circ} \pm 15.94$ and $81.80^{\circ} \pm 12.14$, respectively) and the highest DST values (3.81 ± 1.39 mm) with FCR traction.

STEP	Variable	LN	LE	LF	LFCR
A	Palmar tilt	9.95+3.92	13.15+4.45	13.92+3.22	17.72+6.63
	SL angle	58.47+7.96	42.48+17.47	59.35+12.37	63.40+20.66
	RL angle	15.22+9.01	26.44+10.01	19.85+8.98	21.46+5.54
	DST	2.38+1.36	1.98+2.45	2.21+1.94	1.55+1.15
B	Palmar tilt	14.18+5.85	14.85+4.63	15.65+7.33	15.16+4.54
	SL angle	71.70+10.73	56.82+19.63	87.81+15.94	81.80+12.14
	RL angle	23.69+18	31.3+7.82	26.82+6.47	26.85+11.11
	DST	2.11+2.35	3.24+2.53	2.37+2.55	3.81+1.39
C	Palmar tilt	29.75+5.18	28.14+9.41	32.19+7.21	34.64+8.59
	SL angle	50.75+14.54	33.15+12.45	59.71+11.41	68.73+19.65
	RL angle	11.91+9.39	15.73+9.89	30.73+18.69	24.80+13.49
	DST	0.45+0.94	0.49+0.83	1.24+2.07	0.38+0.59

Table 3. Mean measurements (mm and hexadesimal degrees) with standard deviations in lateral (L) view. LN: L view in neutral wrist position; LE: L view in extension; LF: L view in

flexion; **LFCR**: L view in *Flexor Carpi Radialis* tendon traction; **A**: Baseline; **B**: Instability model step; **C**: Flexion Osteotomy step; **SL**: scapholunate; **RL**: radiolunate; **DST**: Dorsal Scaphoid Translation (mm)

The scapholunate angle significantly increased in all L views between baseline and the instability model; however, the increase in DST was only significant with FCR traction (Table 4).

	Variable	LN	LE	LF	LFCR
A vs. B	Palmar tilt	0.063	0.463	1	0.225
	SL angle	0.018	0.018	0.018	0.018
	RL angle	0.091	0.398	0.046	0.225
	DST	0.465	0.463	0.893	0.028
B vs. C	Palmar tilt	0.008	0.008	0.008	0.008
	SL angle	0.008	0.011	0.008	0.038
	RL angle	0.012	0.008	0.110	0.314
	DST	0.144	0.028	0.249	0.018
A vs. C	Palmar tilt	0.018	0.028	0.018	0.043
	SL angle	0.735	0.051	1	0.893
	RL angle	0.091	0.018	0.735	0.686
	DST	0.08	0.345	0.600	0.144

Table 4. P value by Wilcoxon test for differences in palmar tilt, scapholunate angle, radiolunate angle, and dorsal scaphoid translation (DST) in lateral (L) view between baseline and instability model (A vs B), between instability model and after flexion osteotomy (B vs C), and between baseline and flexion osteotomy. **LN**: L view in neutral wrist position; **LE**: L view in extension; **LF**: L view in flexion; **LFCR**: L view in *Flexor Carpi Radialis* tendon traction; **A**: Baseline; **B**: Instability model step; **C**: Flexion Osteotomy step; **DST**: Dorsal Scaphoid Translation. **Shaded box** = statistically significant difference.

2) Radio-kinematic behavior of the carpus after distal radius flexion osteotomy

Scapholunate congruence was improved after osteotomy (Fig. 3), when the radioscopy study showed correction of static misalignment in AP (Fig. 4) and L views in neutral (Fig. 5) and correction of dorsal scaphoid subluxation in FCR tendon traction (Fig. 6).

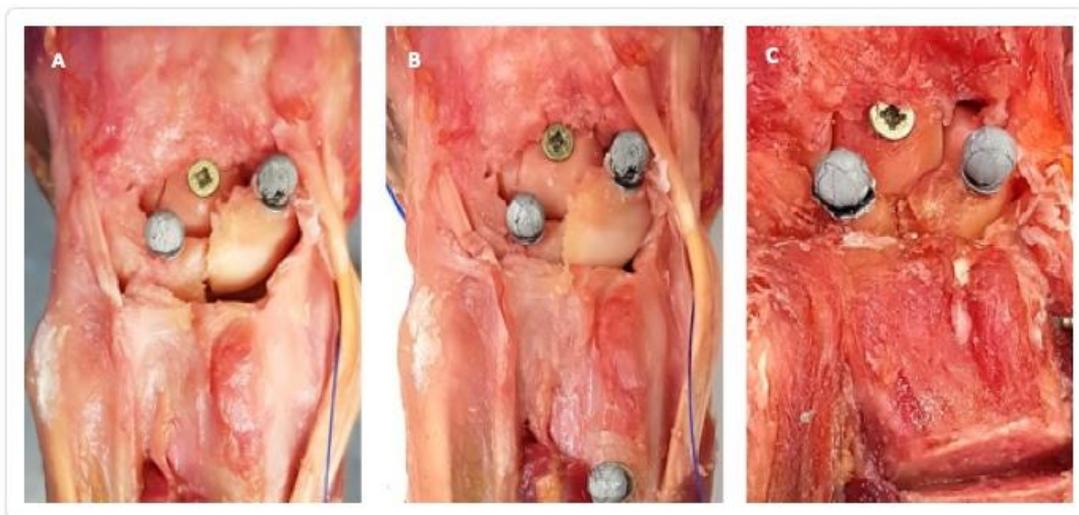


Fig. 3: Effect of distal radius flexion osteotomy on carpus alignment. **A:** isolated scapholunate ligament (SLIL) injury. **B:** Complete scapholunate instability model (division of SLIL + secondary stabilizers). **C:** Effect of distal radius flexion osteotomy on scapholunate joint

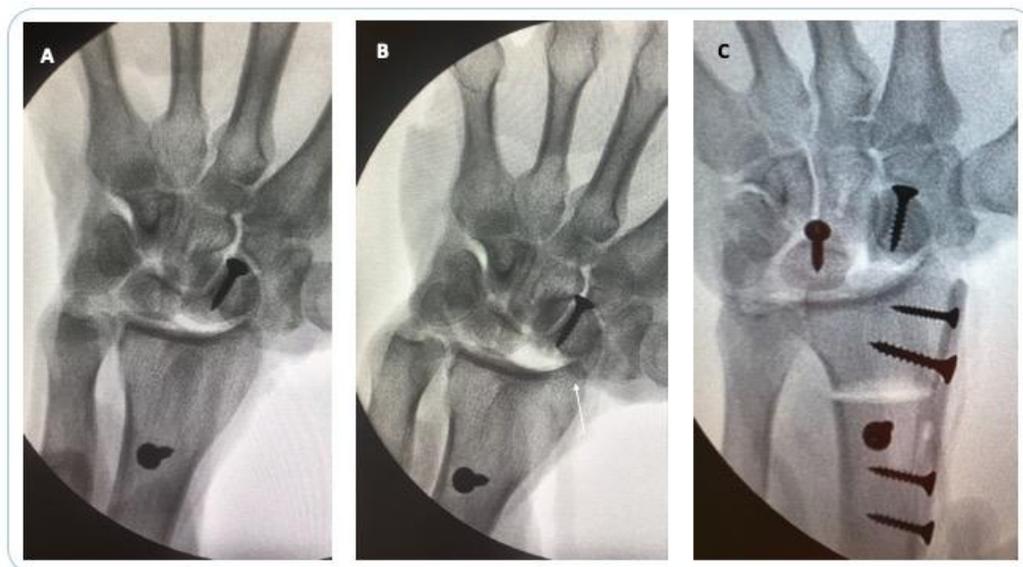


Fig. 4: Radiographical behavior of the carpus in Anteroposterior view in Flexor Carpi Radialis tendon traction. **A:** Baseline **B:** Instability model completed. The superimposition of the contour of the scaphoid on the radius is observed as an indirect sign of radioscapoid dislocation (white arrow). **C:** After distal radius flexion osteotomy. The ring sign is evident, but no radioscapoid dislocation can be seen

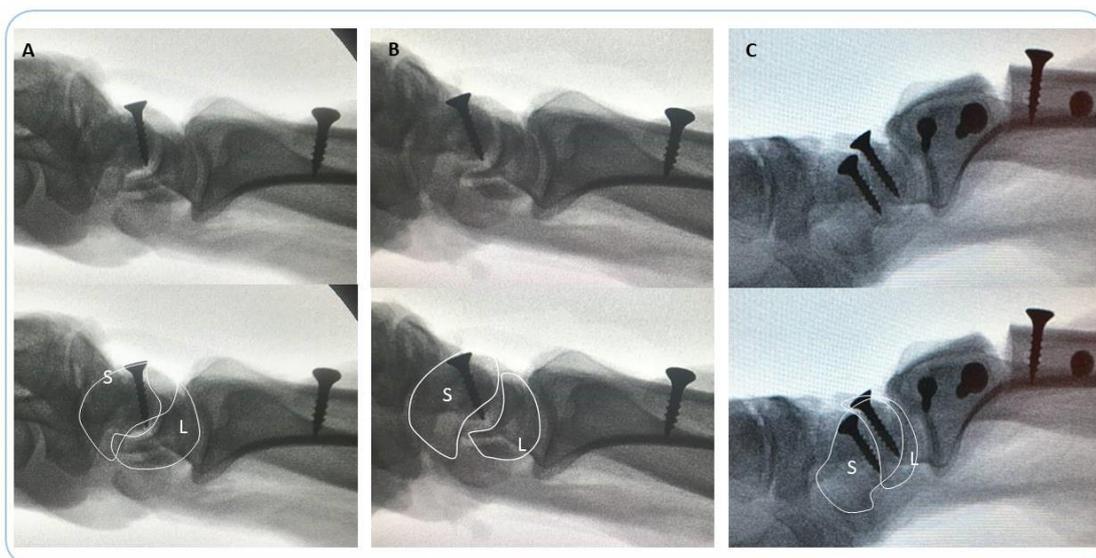


Fig. 5: Radiographical behavior of the carpus in Lateral view: **A:** Baseline **B:** Instability model completed. Incongruity and increase in the scapholunate angle can be observed. **C:** After distal radius flexion osteotomy. The scaphoid subluxation is corrected. Scaphoid and lunate have returned to a normal relationship, and the scapholunate angle is normalized. **S:** Scaphoid. **L:** Lunate

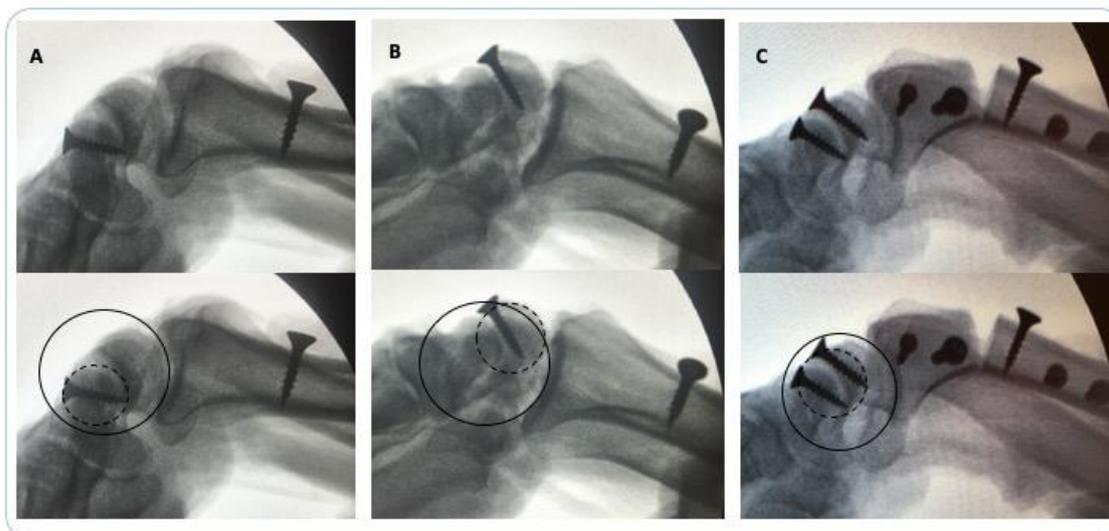


Fig. 6: Radiographical behavior of the carpus in Lateral view in Flexor Carpi Radialis tendon traction. **A:** Baseline **B:** Instability model completed. Radioscaphoid subluxation can be observed. **C:** After distal radius flexion osteotomy. The scaphoid subluxation is corrected. Continuous line circle indicates the concavity of the radius joint surface, and the dotted line circle represents the scaphoid proximal pole to estimate the dorsal scaphoid translation

The scapholunate interval significantly decreased after osteotomy in all static AP views and in tendon traction (Tables 1 and 2).

In L views, the palmar tilt increased by an average of 15-20° as determined by flexion osteotomy. The scapholunate angle was significantly decreased in all views and the DST was decreased in static L view in extension and in FCR traction, which demonstrated the greatest effect on dorsal scaphoid subluxation (Tables 3 and 4).

3) Radio-kinematic differences in the carpus between baseline and after distal radius flexion osteotomy

Flexion osteotomy appeared to restore specimens to a very similar carpal alignment to that observed at baseline, and this observation was confirmed by comparison of radiographic measurements, except for the inevitable increase in palmar tilt. No significant differences were observed between baseline and post-osteotomy in the scapholunate interval (Table 2), the scapholunate angle in any L view, or the DST in FCR traction (Table 4).

DISCUSSION

Scapholunate instability is a frequent health problem, although its true prevalence is unknown [28]. Its maximum incidence is reached during the third and fourth decade of life, impairing the work and sports activities in which individuals of this age tend to be fully engaged [29]. In particular, scapholunate instability is one of the commonest causes of wrist

osteoarthritis [9,17]. Numerous surgical procedures have been published for the treatment of these patients, but the optimal approach has yet to be established.

Naqui et al. [30] published a systematic review in 2018 on the management of chronic scapholunate dissociation. They included 17 out of a total of 1191 retrieved studies, identifying 27 different surgical techniques published before 2015 for the treatment of some stage of scapholunate instability. All selected studies offered level IV evidence, describing a 54% reduction in pain, 24% increase in grip strength, and 18% loss of flexion arc. Some type of complication was reported in 20% of patients, and there was also a relatively high rate (3.8%) of complex regional pain syndrome (CRPS). Complications and reconstruction failures led to revision surgery in 15% of cases. According to the authors of this review, there was insufficient evidence to recommend any treatment of chronic SLIL lesion over any other.

We propose a treatment line that completely differs from previously published approaches, acting on the orientation of the articular facet of the radius to contain DST. We describe the first experimental study of distal radius osteotomy for scapholunate instability, which obtained encouraging results.

The cadaveric instability model selected is widely endorsed in the literature [25,26,31], and recent studies have continued to perform biplane, static, and dynamic radiographic evaluations of models [32]. However, the clenched fist stress view described in other studies [33,34] was replaced with the stress view in FCR traction to reveal greater misalignments in the carpus.

The bony anatomy of the radius and scaphoid plays a role in stabilizing the carpus after ligament injury. In a cadaveric model of substitution of the proximal pole of the scaphoid to treat proximal pole nonunions, Capito and Higgins [35] observed that the preservation or reconstruction of scapholunate integrity may not be necessary if the reconstruction expands the normal dimensions of the native scaphoid. Scapholunate interval and carpal alignment may be restored by scaphoid overstuffing, as confirmed in a cadaveric model of scapholunate instability by Furey et al. [36], who concluded that scaphoid lengthening may represent a future direction for the surgical treatment of scapholunate instability.

In a study of eight cadaver specimens with sectioned scapholunate stabilizing ligaments, Werner et al. [37] used a wrist movement simulator to evaluate stability and observed that radioscaploid fossa and scaphoid curvatures were larger in the wrists that did not evidence gross instability. Greater stability was also recorded in wrists with deeper radioscaploid fossa and higher volar tilt.

Omori et al. [15] studied six patients with stage IV scapholunate dissociation and dorsal intercalated segment instability deformity, three of whom had a dorsally displaced distal radius malunion. The authors created three-dimensional bone models of the wrists from CT scans and calculated the centroid locations of each carpal bone and the rotational angle of the scaphoid and lunate relative to the radius, comparing the results with normal subjects. They demonstrated that pathological dorsal inclination of the distal surface of the radius intensified the joint alterations described in scapholunate instability, reducing the contact area and increasing the pressure on radio-scaphoid, midcarpal, and scaphotrapeziotrapezoid joints. These findings prompted our team to hypothesize that radiocarpal and midcarpal joint congruence could be improved in patients with scapholunate instability by a modification in the opposite direction, changing the flexion of the joint surface of the radius.

In brief, the aim of flexion osteotomy is to modify the radioscaploid relationship so that the dorsal ridge of the radius constrains DST, a traditional approach to joint instability in the shoulder and elsewhere [38]. The present results demonstrate a significant reduction in DST after osteotomy, especially in FCR traction, the most destabilizing dynamic radiographic examination.

Flexion osteotomy can be performed with an addition (“open wedge”) or subtraction (“closed wedge”) effect, and the former was arbitrarily selected for this study. This involves a relative lengthening of the radius, producing a situation analogous to that described by Capito and Higgins [35] and Furey et al. [36], in which the scapholunate interval and carpal alignment were restored by scaphoid overstuffing. It would be of interest to repeat the

experiment with a subtraction (shortening) osteotomy in order to compare the effects and identify the critical flexion angle in the osteotomy.

Injury to the scapholunate ligament alone does not cause scapholunate instability, and secondary stabilizing ligaments must also be impaired to produce scapholunate diastasis, flexion, and pronation of the scaphoid [4]. As noted by Furey, et al [36], isolated SLIL reconstruction affects only one aspect of instability and is likely insufficient to reestablish normal carpal biomechanics.

Lengthening of the scaphoid or radius would produce a retightening of radiocarpal capsule and secondary stabilizers. This may restore carpal alignment without SLIL reconstruction, as observed in the present experiment, correcting the scapholunate interval, scapholunate and radioulnar angles, and DST.

One concern arising from this experiment, as also observed in scaphoid lengthening studies [35,36], is the potential increase in contact pressures between scaphoid and radius articular surfaces. The repercussions of this increase on wrist mobility and progression to wrist osteoarthritis must be considered before this technique is applied in patients.

One limitation of this cadaveric study is that it was based on a small number of specimens and did not allow examination of the clinical repercussions and joint kinematics under neuromuscular control *in vivo*. It was also not possible to evaluate the impact of modifying joint load transmissions or the effects of osteotomy on functional arcs of wrist motion after osteotomy. In addition, only AP and L radiological views were used for measurements, yielding information in 2D that could be completed by 3D evaluation and with a CT scan. Furthermore, the generic fixation material employed for osteotomy stabilization is very different from radius-specific fixation systems of anatomical design. Finally, although these results are encouraging, a prospective *in vivo study* with control group is needed to determine the mid- and long-term outcomes of these procedures, because these findings reflect only the immediate post-surgical condition, which may possibly deteriorate with repetitive motion and the stretching of soft tissues.

In conclusion, distal radius flexion-adduction osteotomy appears to improve carpal alignment parameters (scapholunate interval, scapholunate angle, and DST) in a cadaveric model of static scapholunate instability, reaching similar values to those observed pre-instability at baseline. However, its application in the clinical setting is yet to be demonstrated.

REFERENCES

1. Andersson JK. Treatment of scapholunate ligament injury: Current concepts. *EFORT Open Rev.* 2017;2(9):382-393.
2. Johnson JE, Lee P, McIlff TE, Toby EB, Fischer KJ. Scapholunate ligament injury adversely alters in vivo wrist joint mechanics: an MRI-based modeling study. *J Orthop Res.* 2013, 31: 1455–60.
3. Short WH, Werner FW, Green JK, Masaoka S. Biomechanical evaluation of ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate. *J Hand Surg Am.* 2002; 27(6):991-1002.
4. Short WH, Werner FW, Green JK, Masaoka S. Biomechanical evaluation of the ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate: Part II. *J Hand Surg Am* 2005;30(01):24–34
5. 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 Am.* 2007;32(3):297-309.
6. Kitay A, Wolfe SW. Scapholunate instability: current concepts in diagnosis and management. *J Hand Surg Am.* 2012;37(10):2175-2196.
7. Werner FW, Short WH, Green JK. Changes in patterns of scaphoid and lunate motion during functional arcs of wrist motion induced by ligament division. *J Hand Surg Am.* 2005; 30:1156–60.

8. Pappou IP, Basel J, Deal DN. Scapholunate ligament injuries: a review of current concepts. *Hand (N Y)*. 2013;8(2):146-156.
9. Watson HK, Weinzweig J, Zeppieri J. The natural progression of scaphoid instability. *Hand Clin*. 1997, 13: 39–49.
10. Messina JC, Van Overstraeten L, Luchetti R, Fairplay T, Mathoulin CL. The EWAS classification of scapholunate tears: an anatomical arthroscopic study. *J Wrist Surg* 2013;2(02):105–109
11. Dreant N, Mathoulin C, Lucchetti R, et al. Comparison of two arthroscopic classifications for scapholunate instability. *Chir Main*. 2009;28(2):74-7.
12. Geissler W B, Haley T. Arthroscopic management of scapholunate instability. *Atlas Hand Clin*. 2001; 6:253–274.
13. Garcia-Elias M, Lluch AL, Stanley JK. Three-ligament tenodesis for the treatment of scapholunate dissociation: indications and surgical technique. *J Hand Surg Am*. 2006;31(1):125–134.
14. Short WH, Werner FW, Fortino MD, Palmer AK, Mann KA. A dynamic biomechanical study of scapholunate ligament sectioning. *J Hand Surg Am*. 1995, 20: 986–99.
15. Omori S, Moritomo H, Omokawa S, Murase T, Sugamoto K, Yoshikawa H. In vivo 3-dimensional analysis of dorsal intercalated segment instability deformity secondary to scapholunate dissociation: a preliminary report. *J Hand Surg Am*. 2013;38(7):1346-1355.
16. Blevens AD, Light TR, Jablonsky WS, Smith DG, Patwardhan AG, Guay ME, Woo TS. Radiocarpal articular contact characteristics with scaphoid instability. *J Hand Surg Am*. 1989;14(5):781-90.
17. Watson HK, Ballet FL. The SLAC wrist: scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis. *J Hand Surg* 1984;9A:358–365.
18. Montgomery SJ, Rollick NJ, Kubik JF, Meldrum AR, White NJ. Surgical outcomes of chronic isolated scapholunate interosseous ligament injuries: a systematic review of 805 wrists. *Can J Surg*. 2019;62(3):1-12.

19. Imada AO, Eldredge J, Wells L, Moneim MS. Review of surgical treatment for chronic scapholunate ligament reconstruction: a long-term study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2022 May 24.
20. Daly LT, Daly MC, Mohamadi A, Chen N. Chronic Scapholunate Interosseous Ligament Disruption: A Systematic Review and Meta-Analysis of Surgical Treatments. *Hand (N Y).* 2020; 15(1):27-34
21. Szabo RM, Slater RR Jr, Palumbo CF, Gerlach T. Dorsal intercarpal ligament capsulodesis for chronic, static scapholunate dissociation: clinical results. *J Hand Surg Am* 2002;27(06):978–984
22. Moran SL, Ford KS, Wulf CA, Cooney WP. Outcomes of dorsal capsulodesis and tenodesis for treatment of scapholunate instability. *J Hand Surg Am* 2006;31(09):1438–1446.
23. De Smet L, Goeminne S, Degreef I. Failures of the three-ligament tenodesis for chronic static scapholunate dissociation are due to insufficient reduction. *Acta Orthop Belg.* 2011; 77(5):595-7.
24. Goeminne S, Borgers A, van Beek N, De Smet L, Degreef I. Long-term follow-up of the three-ligament tenodesis for scapholunate ligament lesions: 9-year results. *Hand Surg Rehabil.* 2021; 40(4):448-452.
25. Pollock PJ, Sieg RN, Baechler MF, Scher D, Zimmerman NB, Dubin NH. Radiographic evaluation of the modified Brunelli technique versus the Blatt capsulodesis for scapholunate dissociation in a cadaver model. *J Hand Surg Am.* 2010;35(10):1589-98.
26. Lee SK, Desai H, Silver B, Dhaliwal G, Paksima N. Comparison of radiographic stress views for scapholunate dynamic instability in a cadaver model. *J Hand Surg Am.* 2011 Jul;36(7):1149-57.
27. Chan K, Vutescu ES, Wolfe SW, Lee SK. Radiographs Detect Dorsal Scaphoid Translation in Scapholunate Dissociation. *J Wrist Surg.* 2019; 8(3):186-191.
28. O'Brien L, Robinson L, Lim E, O'Sullivan H, Kavnoudias H. Cumulative incidence of carpal instability 12-24 months after fall onto outstretched hand. *J Hand Ther.* 2018;31(3):282-286.

29. Melsom D, Leslie I. Carpal dislocations. *Curr Orthop*. 2007; 21:288e297.
30. Naqui Z, Khor WS, Mishra A, Lees V, Muir L. The management of chronic non-arthritis scapholunate dissociation: a systematic review. *J Hand Surg Eur Vol*. 2018; 43(4):394-401.
31. Payet E, Bourguignon D, Auquit-Auckbur I, Duparc F, Dujardin F. Radiographic evaluation of a novel horizontal dorsal intercarpal capsulodesis as a treatment of pre-arthritis scapholunate dissociation: a cadaver study. *J Hand Surg Eur Vol*. 2015; 40(5):502-11.
32. Burnier M, Jethanandani R, Pérez A, Meyers K, Lee S, Wolfe SW. Comparative Analysis of 3 Techniques of Scapholunate Reconstruction for Dorsal Intercalated Segment Instability. *J Hand Surg Am*. 2021; 46(11):980-988.
33. Hsu JW, Kollitz KM, Jegapragasan M, Huang JI. Radiographic evaluation of the modified Brunelli technique versus a scapholunotriquetral transosseous tenodesis technique for scapholunate dissociation. *J Hand Surg Am*. 2014; 39(6):1041-9.
34. Athlani L, Pauchard N, Dautel G. Radiological evaluation of scapholunate intercarpal ligamentoplasty for chronic scapholunate dissociation in cadavers. *J Hand Surg Eur Vol*. 2018; 43(4):387-393.
35. Capito AE, Higgins JP. Scaphoid overstuffing: the effects of the dimensions of scaphoid reconstruction on scapholunate alignment. *J Hand Surg Am*. 2013;38(12):2419-2425.
36. Furey MJ, White NJ, Dhaliwal GS. Scapholunate Ligament Injury and the Effect of Scaphoid Lengthening. *J Wrist Surg*. 2020; 9(1):76-80.
37. Werner FW, Short WH, Green JK, Evans PJ, Walker JA. Severity of scapholunate instability is related to joint anatomy and congruency. *J Hand Surg Am*. 2007 Jan;32(1):55-60.
38. Latarjet M. Treatment of recurrent dislocation of the shoulder. *Lyon Chir* 1954; 49:994–997.

« Soli Deo Gloria »



J. S. Bach (1685 – 1750)

