



Abb. 1.9 Ulna-Plus- und Ulna-Minus-Varianten.
 a Posttraumatische Ulna-Plus-Variante.
 b Posttraumatische Ulna-Minus-Variante.

Die Stabilisation des proximalen und distalen Radiokarpalgelenks übernimmt der ligamentäre Halteapparat des TFCC. Die folgende Gliederung und Beschreibung nach Schmitt 2004 [237] zeigt den Aufbau und die Funktion der einzelnen Strukturen des TFCC.

Discus articularis bzw. Discus ulnocarpalis und Meniscus homologue

Der **Discus articularis (Discus ulnocarpalis;** ► Abb. 1.10) entspringt aus dem hyalinen Gelenkknorpel des Radius in Höhe der Incisura ulnaris und setzt in den meisten Fällen breitflächig mit einem 1. Zügel an der Spitze des Processus styloideus ulnae und mit einem 2. Zügel an der Basis des Processus styloideus an. Die Basis des Discus ulnocarpalis liegt in der Fläche der distalen Ulna. An der radialen Insertion beträgt seine Dicke ca. 2 mm und an der ulnaren Insertion ca. 5 mm [166] im Vergleich zu seinem dünneren Zentrum, woraus seine bikonkave Form resultiert. Bei einer Minusvariante der Ulna ist der Discus ulnocarpalis im Volumen stärker und bei einer Plusvariante schwächer ausgeprägt. Die Ansatzabschnitte weisen eine gute Durchblutung auf, während der deutlich größere zentrale und radiale Teil avaskulär ausgebildet sind. Der Discus ulnocarpalis ist der **wichtigste Bestandteil des TFCC** unter Einbindung des palmaren und dorsalen Lig. radioulnare [166]. Er trägt im Wesentlichen zur Übertragung von

Achsenkompressionen von der Hand auf die Ulna bei (sog. Stoßdämpfer), erweitert die Gelenkfläche zwischen dem Radius und der Ulna und stabilisiert die ulnare Handwurzelseite [242].

Der **Meniscus ulnocarpalis (Meniscus homologue)** besteht aus einer synovialen Schleimhautfalte und lockerem Bindegewebe. Er entspringt randständig vom Discus ulnocarpalis bzw. der Incisura ulnaris und setzt einerseits über einen Verlauf schräg nach palmar und ulnar am Processus styloideus ulnae und andererseits an der Palmarseite des Triquetrums, Hamatums und den Basen der Metakarpalknochen IV/V an. Der Meniscus homologue trägt zur **Stabilisation des ulnaren Karpus und des distalen Pisotriquetralgelenks** bei. Die Ligg. radioulnaria palmare et dorsale, das Lig. ulnolunatum und das Lig. ulnotriquetrum sind mit der Außenseite des Discus ulnocarpalis verwachsen.

Merke



Da der Meniscus homologue auch Synovialgewebe enthält, neigt er insbesondere bei der rheumatoiden Arthritis zu entzündlichen Prozessen [166], woraus eine weiterlaufende Gewebeschädigung des TFCC resultieren kann. Allein eine dorsale Plica synovialis kann eine belastungsabhängige Schmerzsymptomatik ähnlich einer Diskusläsion hervorrufen. Hierbei bilden sich Synovialzotten am dorsalen Aspekt des ulnokarpalen Handgelenks, welche zu einem schmerzhaften Impingement führen.

Lig. radioulnare palmare und Lig. radioulnare dorsale

Das Lig. radioulnare palmare entspringt palmarseitig und das Lig. radioulnare dorsale dorsalseitig vom distalen, ulnaren und sehr kompakten Radiusabschnitt innerhalb der Gelenkkapsel des distalen Radioulnargelenks. Ihre Fasern gehen ineinander über und bilden eine Art Ring, welcher mit dem Ulnaköpfchen sowie dem Discus ulnocarpalis fest verwachsen ist. Diese beiden Bänder gelten als **Steuerbänder und Stabilisatoren für die Pro- und Supination**. Während der Supination spannt sich neben dem M. extensor carpi ulnaris das Lig. radioulnare palmare und während der Pronation das Lig. radioulnare dorsale an [235]. Somit sind diese beiden Ligamente ein wesentlicher Teil des TFCC und **sichern alle Umwendbewegungen des distalen Radioulnargelenks** (► Abb. 1.11).

Ligg. ulnolunatum und ulnotriquetrum

Diese beiden Bänder gelten als **Verstärkungsbänder des TFCC** für das proximale Radiokarpalgelenk. Beide entspringen vom Lig. radioulnare palmare isoliert oder gemeinsam. Das 1. Verstärkungsband (Lig. ulnolunatum) setzt am Lunatumvorderhorn an (häufig besteht auch eine Verbindung zum Lig. lunotriquetrum) und das 2. Ver-

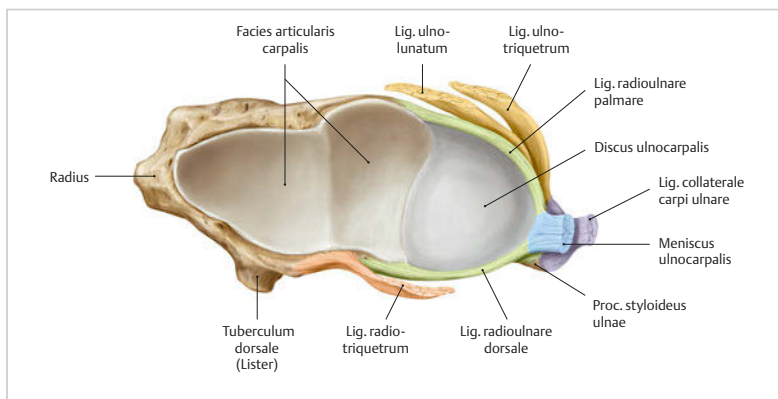


Abb. 1.10 Discus ulnocarpalis in der Ansicht von distal. (Aus: Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus. LernAtlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 5. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2018)

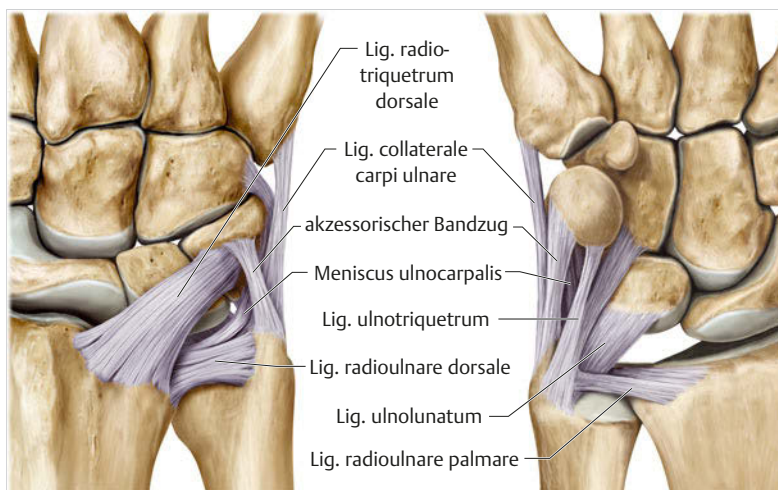


Abb. 1.11 Ligamente des TFCC. Links: Ansicht von dorsal. Rechts: Ansicht von palmar. (Aus: Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus. LernAtlas der Anatomie und Bewegungssystem. 5. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2018 [Abbildungsteil rechts ergänzt])

stärkungsband (Lig. ulnotriquetrum) an der Palmarseite des Triquetrums. Beide Ligamente **tragen zur Stabilität des Radioulnar- und Radiokarpalgelenks bei**.

Lig. collaterale ulnare

Nach Taleisnik 1985 [259] und De Leeuw 1962 [148] ist dieses Ligament ein Bestandteil des Retinaculum musculorum extensorum, der Sehnenscheide des M. extensor carpi ulnaris und der Gelenkkapsel. Es trägt zur Stabilisation der Radialduktion im proximalen Radiokarpalgelenk bei. Bei dieser Bewegung kommt es zur ulnaren Verschiebung der Handwurzelknochen, welche von diesem Ligament mit abgebrems werden [114].

Sehnenscheide des M. extensor carpi ulnaris

Die Sehnenscheide des M. extensor carpi ulnaris mit seinem Retinaculum musculorum extensorum ist fest im dorsalen Abschnitt des TFCC integriert. Sie verläuft in einer rinnenförmigen Vertiefung an der Dorsalseite des

Ulnakopfes und setzt mit einigen Sehnenfasern am Os triquetrum [259], am Os pisiforme, am Lig. pisometacarpale und an der Basis vom Os metacarpale V an [235]. Funktionell **bremst sie die Supination im Radioulnargelenk ab** (► Abb. 1.12) und fungiert synergistisch mit dem Lig. collaterale carpi ulnare als **Stabilisator der Radialduktion** [235].

Praxis

Im Bereich des TFCC sind häufig traumatische und degenerative Prozesse anzutreffen. In den meisten Fällen der traumatischen Diskusläsionen zeigt sich ein Abriss des Diskus am ulnaren Ansatz ggf. in Kombination mit Abriss des Processus styloideus ulnae. Sollte es hier zu einer Instabilität im distalen Radioulnargelenk kommen, ist eine arthroskopisch assistierte Refixation sinnvoll. Des Weiteren bestehen Diskusperforationen in der avaskulären Zone, also am radialen Ansatz oder im Zentrum des Diskus. Darüber hinaus können die ulnokarpalen Bänder abreißen. Impaktionssyndrome führen häufig zu chro-

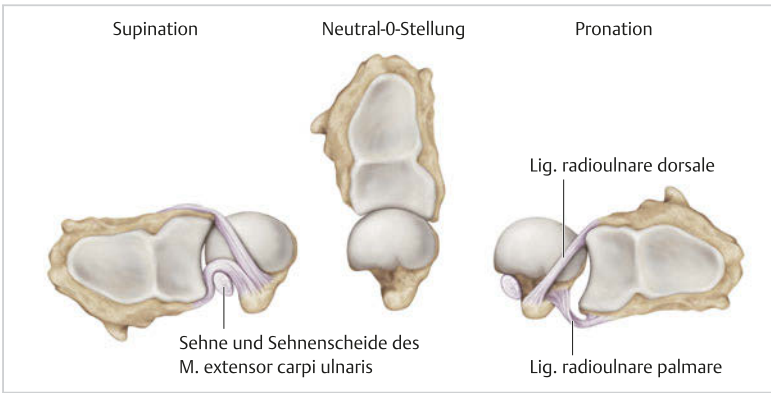


Abb. 1.12 Pro- und Supinationsbremse. Ansicht von distal. Der Discus ulnocarpalis ist nicht dargestellt.

nischen Diskusläsionen, wobei auch gelegentlich ein großer zentraler Defekt arthroskopisch dargestellt werden kann (► Abb. 1.13). Verletzungen der radioulnaren Ligamente führen immer zu Instabilitäten im distalen Radioulnargelenk. Ist das Lig. radioulnare palmare betroffen, subluxiert der Radius nach palmar und ist das Lig. radioulnare dorsale betroffen nach dorsal. Rupturen des Lig. ulnolunatum und des Lig. ulnotriquetrum radiocarpale können Gefügestörungen der Handwurzelknochen mit entsprechenden Degenerationen begünstigen [237].

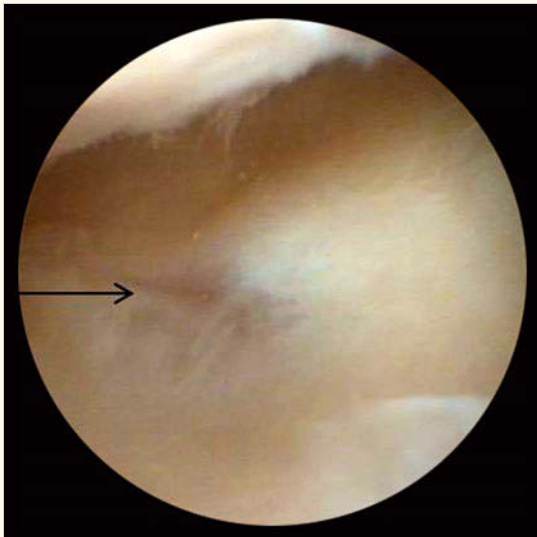


Abb. 1.13 Arthroskopische Darstellung eines radialeitigen Einrisses des Discus ulnocarpalis.

1.3.5 Muskulatur des Radioulnargelenks – Pronation und Supination

Die wesentlichen Muskeln für die Pro- und Supination liegen im Bereich des Ober- und Unterarms.

Muskulatur der Pronation

Die Pronation wird vom M. pronator teres und vom M. pronator quadratus ausgeführt:

- Der kräftige 2-köpfige **M. pronator teres** gehört zur oberflächlichen Schicht der Beugemuskeln (► Abb. 1.14). Mit seinem größeren Kopf (Caput humerale) entspringt er vom Epicondylus medialis humeri und vom Septum intermusculare mediale; mit seinem kleineren tief liegenden Kopf (Caput ulnare) vom Processus coronoideus (Kronenfortsatz). Der gemeinsame Ansatz liegt seitlich in der Mitte der Tuberositas pronatoria (Radiuschaft). In seinem Insertionsfeld wird er vom M. brachioradialis überlagert [62].
- Der 4-eckige sehr flache und ebenfalls in der tiefen Schicht der palmaren Beugemuskulatur gelegene **M. pronator quadratus** verläuft im Bereich der distalen Unterarmknochen. Er entspringt vom seitlichen Rand der Elle und setzt an der volaren Fläche der Speiche an. In seiner Funktion zieht er den Radius zur Ulna und trägt zur Stabilisierung der Pronation bei.



Merke

Der M. pronator quadratus ist der wichtigere Pronator, da er bei allen Einwärtsdrehungen beteiligt ist, während der M. pronator teres nur bei schnellen Bewegungen und gegen Widerstand aktiv wird [265] [268]. In geringem Maße ist z. B. der M. flexor carpi radialis an der Pronation beteiligt.

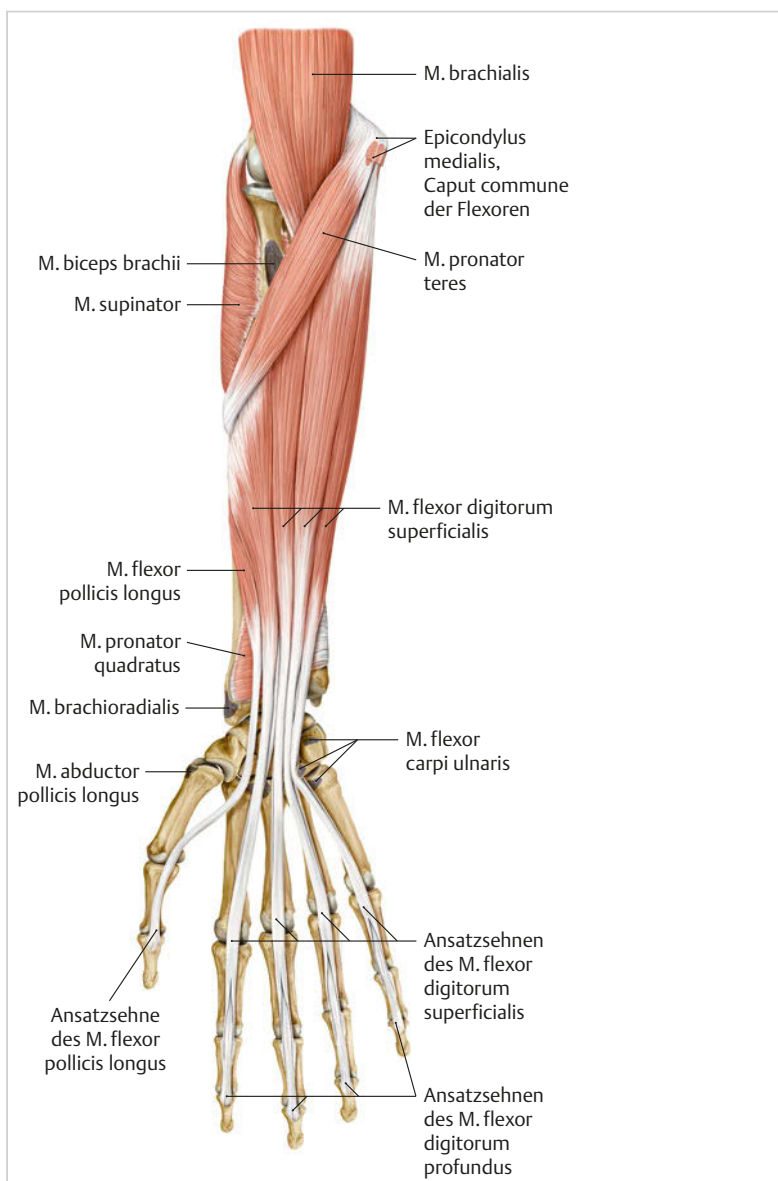


Abb. 1.14 Mm. pronator teres u. supinator. (Aus: Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus. LernAtlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 5. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2018)

Muskulatur der Supination

Die Supination wird vom M. biceps brachii und vom M. supinator ausgeführt:

- Der 2-köpfige **M. biceps brachii** entspringt mit seinem Caput longum vom Tuberculum supraglenoidale und mit seinem Caput breve vom Processus coracoideus. Die beiden Köpfe vereinen sich in der Regel in Höhe der Tuberositas deltoidea. Mit einer kräftigen Sehne (unter Einschluss der Bursa bicipitoradialis) setzt er an der Tuberositas radii an. Eine 2. flächenhafte Sehne formiert sich zur Aponeurosis m. bicipitis brachii (Lacertus fibrosus) und strahlt in die Fascia antebrachii ein. Seine Supinationswirkung nimmt mit zunehmender Beugung im Ellenbogengelenk zu.

- Der **M. supinator** gehört zur tief liegenden Schicht der Streckmuskeln (► Abb. 1.14). Er hat die Form einer trapezähnlichen, 1 cm dicken Muskelplatte. Er entspringt aus der Crista m. supinatoris der Ulna, dem lateralen Epicondylus medialis humeri, am Lig. collaterale radiale und aus dem Lig. anulare radii. Seinen Ansatz findet er am Radius zwischen der Tuberositas radii und dem Ansatz des M. pronator teres. Der M. supinator ist als Auswärtsdreher wesentlich stärker und wichtiger als der M. biceps brachii, da er in allen Stellungen des Armes mit gleicher Kraft arbeiten kann [265]. Fällt verletzungsbedingt der M. biceps brachii aus, so ist eine Supinationsbewegung weiterhin möglich. Im Umkehrfall kann der M. biceps brachii diese Aufgabe nicht übernehmen.

Bei rechtwinklig gebeugtem Ellenbogen sind die Supinatoren wesentlich stärker ausgeprägt als die Pronatoren; daher ist es auch funktionell leichter, z. B. den Schraubendreher kraftvoll bei gebeugtem Ellenbogen zu benutzen. Der **M. brachioradialis** ist nicht an der Pro- und Supination beteiligt, er bringt lediglich den Unterarm zurück in die Mittelstellung. In dieser Position fungiert er auch als Beuger. Als 1-köpfiger, oberflächlich gelegener Muskel entspringt er aus der Crista supracondylaris lateralis des Humerus und dem Septum intermusculare brachii laterale. Seinen Ansatz findet er an der radialen Fläche des Processus styloideus radii.

1.4 Handgelenk und Bewegungsachsen

1.4.1 Bewegungsachsen

Das Lig. collaterale carpi ulnare gilt unter Einbindung des Meniscus ulnocarpalis als eine der Bremsen für die Radialduktion des Handgelenks [111]. Somit ist der TFCC auch ein wesentlicher Faktor für die Einbindung des distalen Radioulnargelenks in die Funktion des Handgelenks. Daraus resultiert, dass sich das Handgelenk aus dem Radiokarpalgelenk, dem Mediokarpalgelenk sowie dem Karpometakarpalgelenk (als Brücke zu den Handwurzelknochen; [23]), unter Berücksichtigung des distalen Radioulnargelenks, zusammensetzt. Die **Bewegungen der Hand** werden in folgenden Formen vollzogen [265]:

- Die **Drehbewegungen** Pro- und Supination werden unter Berücksichtigung des Schultergelenks im proximalen und distalen Radioulnargelenk ausgeführt (► Abb. 1.15). Das Handgelenk (Articulatio manus) ist an diesen Bewegungen nicht beteiligt und wird mehr oder weniger mitgeführt, wobei die selektiven Flächen- und Randbewegungen allein der Articulatio manus unterliegen.
- Zu **Flächenbewegungen** den gehört die Dorsalflexion (Abwinkeln des Handrückens zum Unterarm) und die Palmarflexion (Abwinkeln der Hohlhand zum Unterarm).
- Als **Randbewegungen** werden die seitliche Radialduktion (Abwinkeln der Hand Richtung daumenwärts) und die seitliche Ulnarduktion (Abwinkeln der Hand Richtung kleinfingerwärts) ausgeführt.
- Die **Zirkumduktion** (► Abb. 1.16) ist eine Kombination aus den 2 Freiheitsgraden Dorsal- und Palmarflexion sowie der Radial- und Ulnarduktion. Diese Kreisbewegung des Handgelenks kann durch die Pro- und Supination bedingt unterstützt werden. Reine Drehbewegungen sind nur passiv möglich [155].

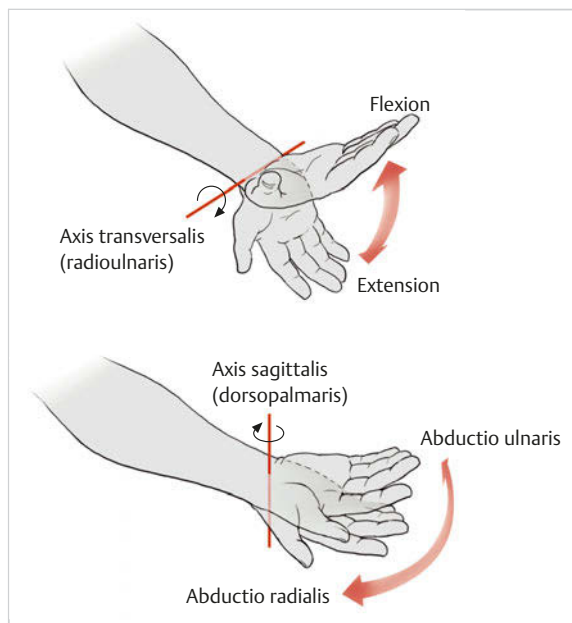


Abb. 1.15 Bewegungsachsen des Handgelenks.

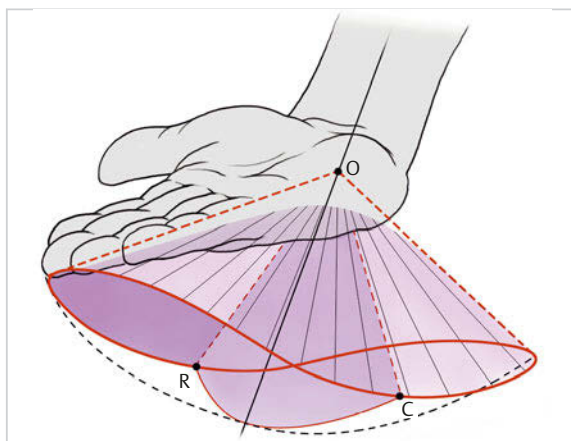


Abb. 1.16 Zirkumduktion der Hand (Handkreisen).

1.4.2 Aufbau und Funktion des Handgelenks

Das Handgelenk wird funktionell als ein einheitliches Gelenk verstanden, wobei es morphologisch aus 2 getrennten Gelenken besteht, d. h. dem **proximalen** (Articulatio radiocarpalis) und **distalen Handgelenk** (Articulatio mediocarpalis). Diese beiden Gelenke besitzen **2 Freiheitsgrade** und setzen sich aus **8 Handwurzelknochen** (7 Knochen und 1 Sesambein; ► Abb. 1.17) zusammen. In der proximalen Reihe finden sich das Os scaphoideum (Kahnbein), das Os lunatum (Mondbein), das Os triquetrum (Dreiecksbein) mit dem Os pisiforme (Erbsenbein) und in der distalen Reihe das Os trapezium (großes Vieleck), das Os trapezoideum (kleines Vieleck), das Os capitatum (Kopfbein) sowie das Os hamatum (Hakenbein). Im Folgenden werden die Charakteristika der einzelnen Handwurzelknochen aufgeführt.

Handwurzelknochen

Os scaphoideum

Das Os scaphoideum ist der größte der 4 proximalen Handwurzelknochen mit einer Länge von ca. 16 mm sowie Breite von ca. 28 mm [221] und ist nach distal und ulnar etwas eingebogen. Ein Viertel der Gesamtfläche ist knorpelfrei und dient diversen Gefäßen als Eintrittspforte [235]; d. h. der Bereich der Insertio Lig. collaterale radiale und des Tuberculum ossis scaphoidei [166]. An diesem palmar-distal etwas radial orientierten Tuberkulum inserieren das Retinaculum musculorum flexorum, die palmaren Radiokarpalbänder sowie der M. abductor pollicis brevis. Es liegt unter der Sehne des M. flexor carpi radialis und dient ihr als Hypomochlion [235]. Mit seinen konvexen Gelenkflächen hat das Os scaphoideum Kontakt zum Radius und zum Os trapezium und Os trapezoideum, mit seiner konkaven Facette zum Os capitatum und mit einer flachen Fläche zum Os lunatum. Linscheid 1986 [154] ist der Auffassung, dass dieser radiale Knochen weniger ein Bestandteil der proximalen Handwurzelreihe ist, sondern eher die **Verbindung zwischen der proximalen und distalen Knochenreihe** herstellt.

Praxis



Die Pseudarthrose ist eine posttraumatisch anzutreffende Pathologie der instabilen Skaphoidfraktur. Die Instabilität resultiert zum Beispiel aus einer proximalen Fraktur, einer Humpback-Deformität, oder wenn der Frakturspalt weiter als 1 mm ist. Hierbei handelt es sich um eine ausbleibende knöcherne Heilung mit Ausbildung von Bindegewebe im Bruchspalt [16]. Es folgt ein Falschgelenk, welches zwischen den Knochenfragmenten Bewegungen zulässt und zu einer Verkipfung führt. Aus dieser Fehlstellung entwickelt sich eine progrediente Arthrose, die

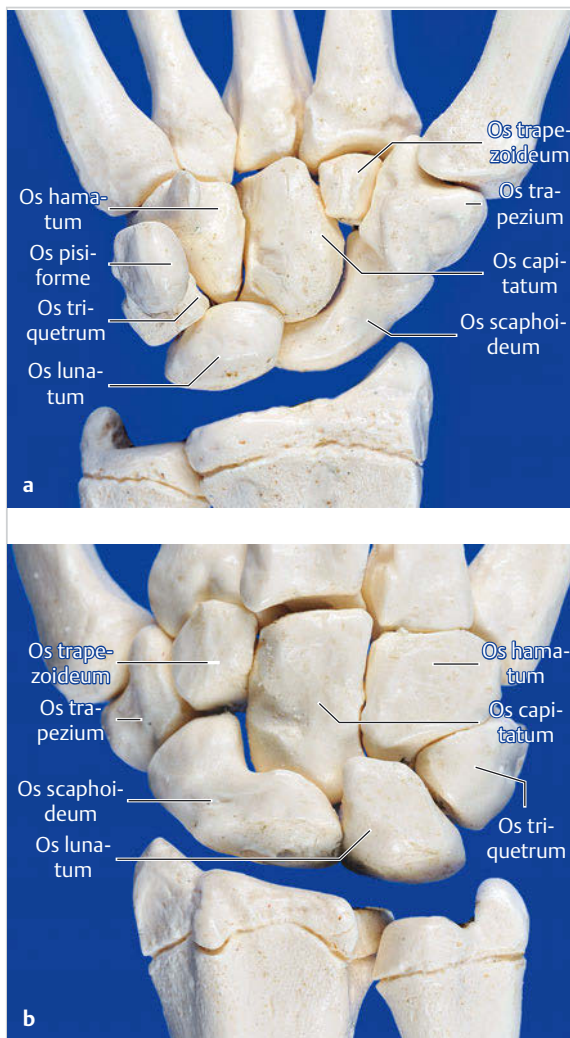


Abb. 1.17 Handwurzelknochen.

a Rechte Hand und Handfläche von palmar.

b Rechte Hand und Handfläche von dorsal.

der Reihe nach verschiedene Gelenkabschnitte befällt. Es entsteht ein sog. SNAC-Wrist (SNAC: Scaphoid nonunion advanced Collaps, ► Abb. 1.18). Der Verlauf wird in Stadien eingeteilt:

- Stadium 1: Arthrose am Processus styloideus durch palmare Fehlstellung des distalen Scaphoidfragments
- Stadium 2: Ausbreitung auf die Gelenkfläche zwischen distalem Fragment und Radius
- Stadium 3: zusätzliche Arthrose mediokarpal (zwischen Lunatum und Capitatum) durch dorsale Stellung des Lunatums und Proximalisierung des Capitatums.

Ist die retrograd verlaufende Durchblutung des Skaphoids bei proximalen Frakturen unterbrochen, folgt häufig eine Osteonekrose des proximalen Pols.



Abb. 1.18 Typische skapholunäre Dissoziation mit Siegelringzeichen des Skaphoids.

Os lunatum

Dieser Handwurzelknochen hat annähernd die Form eines Keils, wobei die dorsale Fläche kleiner ist als die palmare. Die Länge beträgt ca. 19 mm, die Breite ca. 18 mm und die Dicke ca. 13 mm [221]. Das Os lunatum liegt in der Mitte des proximalen Handgelenks und artikuliert gleichermaßen in der Articulatio radiocarpalis mit einer konvexen Gelenkfläche gegenüber dem Radius und in der Articulatio mediocarpalis mit einer konkaven Gelenkfläche gegenüber dem Os capitatum. Mit 2 weiteren flachen Facetten steht es mit dem Os triquetrum und dem Os scaphoideum in Kontakt. Des Weiteren tritt in 65% eine weitere 5. mediale Facette mit der Articulatio zum Os hamatum auf [161]. Bei den wenigen Ernährungsgefäßen des Os lunatum ist der proximale Gelenkflächenanteil am schwächsten durchblutet. Für das Handgelenk ist es von besonderer Bedeutung, da es **sowohl longitudinal als auch transversal an allen Bewegungen beteiligt** ist [235]. Hierbei steuert es die Flexion mit dem Radius und zusammen mit dem Radius und dem Os scaphoideum alle übrigen Funktionen [249].



Zusatzinfo

Bei 44% der Untersuchten mit einem Gelenk zwischen Os lunatum und Os hamatum wurden in dieser 5. medialen Facette Erosionen des Knorpels gefunden [161]. Neben einer Ulna-Minus-Variante unter Einbindung einer Gelenkverbindung zwischen Os lunatum und Os hamatum [110] [117] kann möglicherweise auch ein venöser Rückstau im Os lunatum die Ursache für eine Mondbeinnekrose sein. Auslöser der Durchblutungsstörung kann eine Handgelenksüberstreckung bei gleichzeitiger Druckerhöhung durch die Beugesehnen, eine erhöhte Kapselspannung und eine Kompression des Os lunatum durch die Radiuskante sowie des Os hamatum sein. Weiterhin werden Mikrotraumen der Hand verdächtigt.

Os triquetrum

Das Os triquetrum ist das **ulnare Glied der Radiokarpalknochen** mit einer Länge von ca. 14 mm und einer Breite von ca. 19 mm [221]. Es artikuliert mit einer proximalen konvexen Gelenkfläche zum ulnokarpalen Komplex, mit einer proximal-radial glatten Facette zum Os lunatum, einer knorpelfreien ulnaren dorsalen Facette für die Insertion des Lig. collaterale carpi ulnare und mit einer schraubenförmigen ulnaren distalen Facette zum Hakenbein. Letztere besitzt ohne Status eines Sattelgelenks einen konvexen und konkaven Anteil, wodurch bei der Ulnarduktion eine Spiralbewegung ermöglicht wird [166]. Des Weiteren findet sich palmar eine leicht konkav geformte Gelenkfläche, der das Os pisiforme aufliegt [235]. Die radiale Seitenfläche von diesem Knochen bildet den ulnaren Teil der Loge de Guyon, einem Führungskanal des N. ulnaris durch das Handgelenk.

Os pisiforme

Das Os pisiforme inseriert mit einer flachen Facette als **Sesambein im Os triquetrum**. Unter einem Sesambein wird eine druck- oder reibungsbedingte, örtlich begrenzte Verknöcherung einer Sehne verstanden [166]. Dieses Sesambein ist fest in die Sehne des M. flexor carpi ulnaris und deren karpalen Bandfortsetzungen der Ligg. pisohamatum et pisometacarpale eingelassen [235]. Zudem inserieren die Retinacula musculora extensorum et flexorum, die Ursprungssehne des M. abductor digiti minimi und distale Ausläufer des Meniscus ulnocarpalis (Meniscus homologue) am Os pisiforme. Gemeinsam üben diese Strukturen einen stabilisierenden Einfluss nach distal auf den Karpus aus. Somit gleicht das Os pisiforme einer Radnabe, von der die fibrösen Befestigungen wie Speichen in alle Richtungen ziehen und somit den Knochen verschieblich auf dem Os triquetrum fixieren [192]. Navarro 1935 [183] beschreibt diese beiden Handwurzelknochen als funktionellen Gegenpol zum Os scaphoideum.

Os trapezium

Das Os trapezium mit einer Länge von ca. 17 mm und einer Breite von ca. 24 mm [221] liegt als 1. Handwurzelknochen des distalen Handgelenks hinter dem Os scaphoideum. Palmar, radial und dorsal ist der Knochen rau und knorpelfrei [235]. In Höhe des Tuberculum ossis scaphoidei besitzt dieser Knochen auf der palmaren Seite einen Höcker und eine Rinne, durch welche der M. flexor carpi radialis verläuft; die radiale Seite dient der Insertion des Lig. collaterale carpi radiale. Es ist deutlich an der nach radial-distal gewendeten konkaven sowie konvexen sattelförmigen Gelenkfläche zu erkennen und artikuliert mit einer gegensinnig gekrümmten Fläche des Os metacarpale I. Das **Daumensattelgelenk** ist fest im Karpus integriert und zählt mit zu den wichtigsten Gelenken, da mit der Opposition des Daumens die mannigfaltigen Bewegungsmöglichkeiten der Hand erst möglich werden. Ulnar-distal daneben ist das Os trapezium mit einer flachen viereckigen Facette am Os metacarpale II fest verbunden. Proximal befindet sich die konkave Articulatio zum Os scaphoideum. Medial steht dieser Handwurzelknochen mit seiner zweitgrößten leicht konkaven [166] und schraubenförmigen Fläche zum Os trapezoideum [235].

Os trapezoideum

Neben dem Os pisiforme als Sesambein ist das Os trapezoideum, mit einer Länge von ca. 12 mm und einer Breite von ca. 17 mm, **der kleinste Handwurzelknochen**. Dieser Knochen artikuliert distal mit einer konvexen und konkaven Facette mit dem Os metacarpale II sowie in 34% auch mit dem Os metacarpale III [52]. Die ulnare Facette zum Os capitatum ist leicht konkav bis unregelmäßig verlaufend, die radiale Facette zum Os trapezium ist flach bis leicht konvex und die proximale mit dem Os scaphoideum ist leicht konkav geformt. Aufgrund seiner Keilform ist er **der unbeweglichste Handwurzelknochen**.

Os capitatum

Das Os capitatum ist mit einer Länge von ca. 24 mm und einer Breite von ca. 16 mm [221] **der größte Handwurzelknochen**. Mit seinem konvexen Kopf passt er sich proximal in die konkave Fläche des Os scaphoideum und Os lunatum ein und artikuliert distal mit einer fast ebenen Fläche mit dem Os metacarpale III. Auf der distalen radialen Seite findet sich eine leicht konkave Facette zum Os metacarpale II und eine konvexe Fläche zum Os trapezoideum sowie auf der distalen ulnaren Seite 2 flache Facetten zum Os metacarpale IV und seitlich zum Os hamatum.

Alle Gelenkflächen sind regelrecht mit Knorpel überzogen.

Os hamatum

Dieser Handwurzelknochen erinnert bei einer Länge von ca. 21 mm und einer Breite von ca. 16 mm [221] an die **Form einer Pyramide**. Seine Basis ist zu den Ossa metacarpalia und seine Spitze zum Os lunatum gerichtet. Auf der palmaren Seite im distalen Bereich lokalisiert sich der nach radial konkav eingebogene Hamulus ossis hamati. Proximal findet sich ggf. radial eine konvexe Facette zum Os lunatum (bei 65%; [161]) und ulnarseitig eine schraubenförmige zum Os triquetrum. Distal liegen 2 weitere Gelenkflächen; jeweils eine zum Os metacarpale IV und V.

Gelenkverbindungen

Diese Handwurzelknochen prägen im proximalen Radiokarpalgelenk ein **Ei- bzw. Ellipsoidgelenk** (► Abb. 1.19) und im distalen Radiokarpalgelenk ein mehr oder weni-

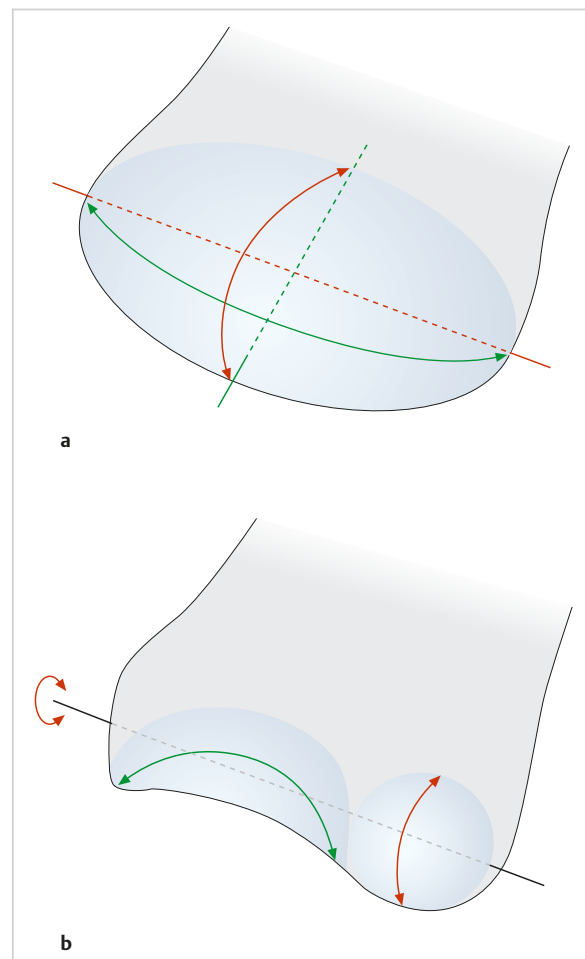


Abb. 1.19 Handgelenk, Ellipsoidgelenk.
a Proximales Handgelenk, 2-achsiges Ellipsoidgelenk.
b Distales Handgelenk, proximale Gelenkfläche.

ger fungierendes **Kugelgelenk** [142] [143]. Des Weiteren bilden auch alle Handwurzelknochen untereinander gelenkige, amphiarthrotische Verbindungen; die *Articulationes intercarpales* [235].

Articulatio radiocarpalis

Das **proximale Handgelenk** verbindet die Hand mit dem Unterarm, d. h. mit den beiden Unterarmknochen Radius und Ulna unter Einbindung des *Discus ulnocarpalis* (► Abb. 1.20). Diese beiden Knochen bilden gemeinsam die proximale bikonkave Gelenkpfanne; einerseits aus der doppel-facettierten Radiusfläche (*Fovea scaphoidea* et *Fovea lunata*) und andererseits aus der wiederum konkaven Fläche des *Discus ulnocarpalis* (*Incisura ulnaris radii* [239]). Drei Viertel dieser Fläche entsprechen dem Radius und $\frac{1}{4}$ der Ulna [239]. Der sagittale Neigungswinkel des Radius kann bis zu 20° [60] und der palmare bis zu 15° betragen (► Abb. 1.21) [235]. Diese Neigungen tragen zu einer **knöchernen Bremse der Palmarflexion und Ulnarduktion** bei, können aber auch **Subluxationen in beide Richtungen begünstigen**.

Der **distale eiförmige konvexe Gelenkkopf** wird aus dem *Os scaphoideum*, dem *Os lunatum* und dem *Os triquetrum* gebildet und ist mit hyalinem Knorpel überzogen. Diese Knochen werden von kurzen Ligamenten (*Lig. scapholunatum* und *Lig. lunotriquetrum*) zusammengehalten, welche mit diesen Handwurzelknochen vollständig verschlossen sind und somit einen einheitlichen Knorpelüberzug vortäuschen [282]. Das *Os pisiforme* ist an der eigentlichen Arthrokinematik nicht beteiligt, sondern dient als Art Sesambein der ligamentären und muskulären Stabilisation des Gelenks. Zwischen den beiden artikulierenden Gelenkflächen besteht insofern ein Missverhältnis, als der konvexe Gelenkkopf (in Form eines Krümmungsbogens) die Pfanne an Größe bei Weitem überragt (in radioulnare Richtung ca. 1:1,5; [228] und in dorsopalmare Richtung ca. 1:2; [95]); so liegt das *Os scaphoideum* dem unteren Ende der Speiche, das *Os lunatum* zum Teil diesem, zum Teil auch bereits dem *Discus ulnocarpalis* an, während das *Os triquetrum* über diesen hinaus mit dem auf der Ellenseite verlaufenden *Lig. collaterale carpi ulnare* in Kontakt steht [265].

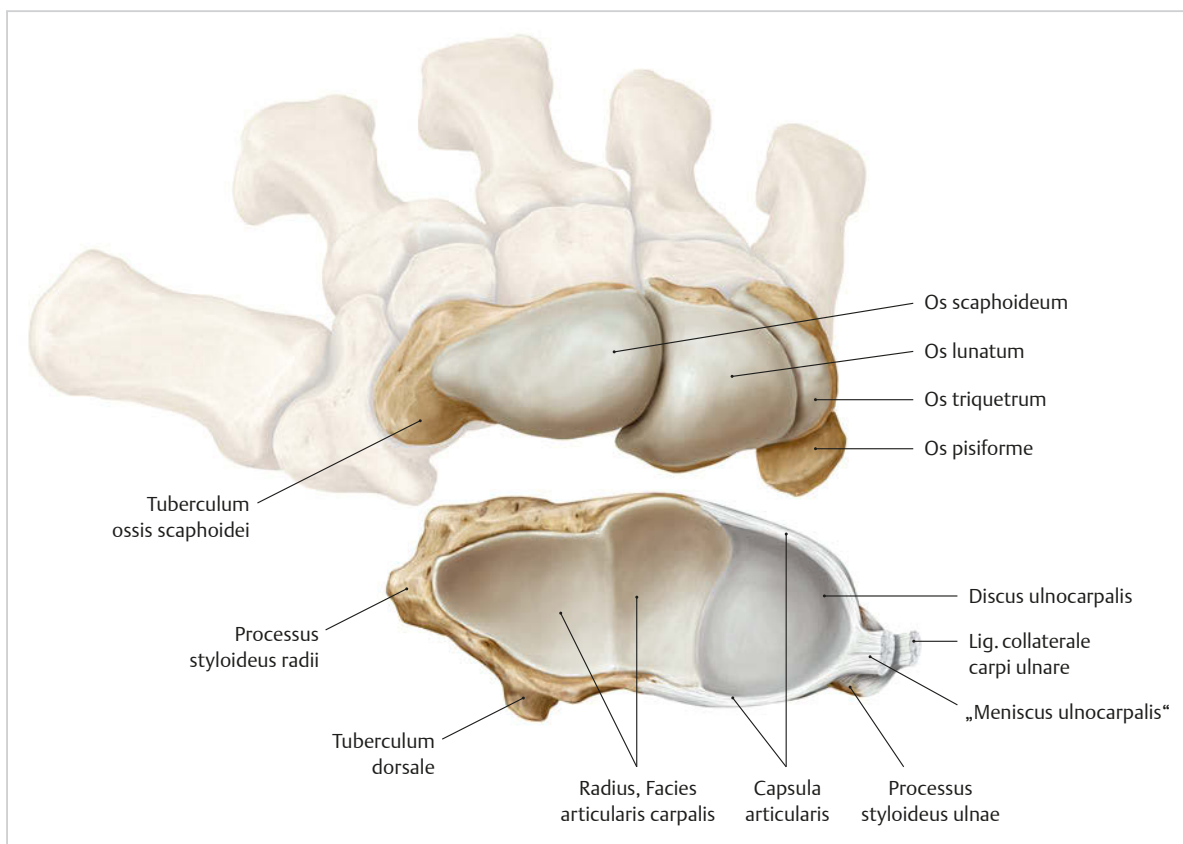


Abb. 1.20 Proximales Handgelenk. (Aus: Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus. LernAtlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 5. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2018)



Abb. 1.21 Neigungswinkel vom Radius. (Aus: Hochschild J. Handgelenk. In: Hochschild J, Hrsg. Strukturen und Funktionen begreifen – Band 1: Grundlagen zur Wirbelsäule, HWS und Schädel, BWS und Brustkorb, Obere Extremität. 5. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2019)

Die **Druckübertragung in Neutral-0-Stellung des Handgelenks** erfolgt zu 48–50% durch die Fossa scaphoidea, zu 35–40% durch die Fossa lunata und zu 12–15% durch den Discus ulnocarpalis [85] [75] [235]. Daraus wird verständlich, dass bei einem Trauma mit ausgestrecktem Arm weniger die filigrane Ulna als vielmehr der wesentlich robustere Radius zu Schaden kommt [265]. Den Abschluss des proximalen Radiokarpalgelenks bildet eine relativ weite und dünne Kapsel, welche durch ein starkes Bandsystem gesichert wird. Der Bewegungsumfang von diesem Gelenk wird immer unter Berücksichtigung der Articulatio mediocarpalis bemessen, da beide Gelenke in einer direkten Wechselbeziehung zueinander stehen [235]. Daraus resultiert eine Dorsalflexion von ca. 80°, eine Palmarflexion von ca. 80°, eine Radialduktion von ca. 15°–25° und eine Ulnarduktion von ca. 40°–50° [235].

Articulatio mediocarpalis

Im Laufe der Evolution hat die Handwurzel den Kontakt zum Processus styloideus ulnae verloren, wodurch der Hand eine stabile Torsionsbewegung ermöglicht wurde [175]. Das **distale Handgelenk** wird aus der proximalen und distalen Reihe der Handwurzelknochen gebildet (► Abb. 1.22). Im Gegensatz zum bogenförmigen proximalen Handgelenk verläuft die distale Handwurzelreihe (d. h. gegenüber der proximalen) in querere wellenförmiger Richtung (in sog. S-Form) aus. Das Os scaphoideum beginnt radial mit einer konvexen Krümmung, der gegenüber eine Pfanne steht, die aus dem Os trapezium und Os trapezoideum gebildet wird. Richtung ulnar wölben sich dagegen Os capitatum und Os hamatum gelenkkopffählich vor. Beide Knochen sind in die Gelenkpfanne von Os scaphoideum, Os lunatum und Os triquetrum eingelassen [235]. 46% der Menschen weisen im proximalen Teil des Os hamatum und im distalen Teil des Os lunatum zusätzliche Gelenkfacetten auf, welche Auslöser von degenerativen Prozessen sein können [275]. Dieser Bogen führt zu einer gewissen Verzahnung beider Handwurzelreihen ineinander [265] mit einem engen Gelenkspalt [23]. Unter Einbindung stabiler Bandverbindungen resultiert daraus eine **geringere Beweglichkeit gegenüber dem proximalen Radiokarpalgelenk** (mit Ausnahme der Dorsalflexion von 50° aufgrund des sehr mobilen Os lunatum [111]). Diese Festigkeit der distalen Handwurzelreihe wirkt sich weiterlaufend auch auf die Mittelhand aus (in Form einer funktionellen starren Einheit) und trägt zur **Stabilisierung des Hohlhandbogens** bei.

Articulationes intercarpales

Untereinander sind die einzelnen Handwurzelknochen gelenkig (Amphiarthrosen) miteinander verbunden. Aufgrund der unterschiedlichen knöchernen Ausbildungen und der starren interossären ligamentären Verbindungen sind die funktionellen Bewegungsausschläge begrenzt. Die jeweiligen Gelenkkapseln werden durch die kleinen, interossären Ligamente verstärkt. Die größte Beweglichkeit findet in der proximalen Reihe zwischen dem Os lunatum und dem Os scaphoideum in Form von Rotationsbewegungen statt. Zwischen dem Os triquetrum und dem Os pisiforme findet sich zudem ein **eigenständiges Interkarpalgelenk** mit einer dünnen festen Kapsel. Funktionell wird das Os triquetrum durch das Os pisiforme zentriert, stabilisiert und auch geführt [235] und wirkt der Zugwirkung des M. flexor carpi ulnaris entgegen [62]. Daraus resultiert (unter Einbindung von nach palmar laufenden Fasern des M. extensor carpi ulnaris und dem Retinaculum musculorum extensorum [235]) eine annähernde extraartikuläre Schleuder [138], die zur Rotationsstabilität des Karpus beiträgt [235]. Zudem wirkt sie einer palmaren Subluxation des Handgelenks entgegen [269] und ist an der Bildung der Loge de Guyon (Führungsrinne des N. ulnaris) beteiligt [40].