Neue Operationsverfahren am Ellenbogen

Verletzungen des Ellenbogens sind häufig komplexe sowie für den Chirurgen anspruchsvolle und herausfordernde Krankheitsbilder. In den letzten Jahren ist der Ellenbogen wieder vermehrt in den wissenschaftlichen Fokus gerückt. Moderne Implantate und neue Operationstechniken haben dazu beigetragen, die Versorgung von Patienten mit Ellenbogenverletzungen weiterzuverbessern. Das berufsgenossenschaftliche Heilverfahren führt die Verletzungen des Ellenbogens im Verletzungsartenverzeichnis unter dem Punkt 7.6. Entsprechend sind Frakturen und Luxationen/Instabilitäten, die eine abklärende Operationsindikation darstellen, einem Krankenhaus mit Zulassung zum Verletzungsartenverfahren (VAV) zuzuführen. Kombinationsverletzungen oder abklärende Indikationen für einen primär prothetischen Ersatz sind Krankenhäusern mit Zulassung zum Schwerstverletzungsartenverfahren (SAV) vorbehalten.

Olekranonfraktur

Olekranonfrakturen stellen mit etwa 10 % der Frakturen der oberen Extremität eine häufige Verletzung dar [1]. Zur Frakturbeschreibung stehen verschiedene Klassifikationssysteme zur Verfügung (Mayo-, Schatzker-Klassifikation und Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen [AO]). Im klinischen Alltag hat sich überwiegend die Schatzker-Klassifikation [2] etabliert, die die direkte Therapieableitung

ermöglicht. Der Großteil der Olekranonfrakturen wird operativ versorgt. Die konservative Therapie ist alten, multimorbiden Patienten vorbehalten, die nach 6 bis 12 Monaten ein zufriedenstellendes funktionelles Ergebnis ohne Komplikationen erzielen [3, 4]. Ziel der operativen Versorgung ist die stabile Wiederherstellung der Gelenkkongruenz mit Neutralisation der Zugkräfte durch den Trizeps, um eine frühfunktionelle Nachbehandlung zu ermöglichen. Zu den klassischen Osteosynthesetechniken zählen die Zuggurtungsosteosynthese, dorsale Plattenosteosynthesen oder die intramedulläre Nagelosteosynthese.

Die Zuggurtungsosteosynthese ist bei einfachen, isolierten Olekranonfrakturen weiterhin das am häufigsten verwendete Osteosyntheseverfahren. Ein Vorteil ist sicherlich in den niedrigen Implantatkosten zu sehen. Entgegen der Einschätzung vieler Operateure stellt die Zuggurtungsosteosynthese jedoch keine technisch „einfache“ Versorgung dar. Schneider et al. definierten in ihrer Multizenterstudie 10 mögliche Fehlerquellen. Bei 239 untersuchten Fällen lagen im Durchschnitt 4,25 Fehler vor [5]. Als häufigste Fehlerquellen wurden eine insuffiziente Fixation der proximalen Kirschner(K)-Drahtenden (91 %), Fehlen einer zweiten Zwirbel (78 %) und nichtparallele K-Drähte (72 %) identifiziert. Grundgedanke der Zuggurtungsosteosynthese ist die Umwandlung von Zugkräften in Kompressionskräfte am Frakturspalt. Biomechanische Studien konnten dies jedoch nicht bestätigen [6, 7]. Berücksichtigt man zudem Komplikationsraten bis zu 80 % [5, 8] und Metallentfernungen bis zu 82 %, meist

aufgrund mechanischer Weichteilirritationen [5, 9], müssen alternative Versorgungsmöglichkeiten zur Zuggurtungsosteosynthese in Betracht gezogen werden.

Eine solche Alternative bietet die streckseitige Plattenosteosynthese, wobei sich die anatomisch präformierten winkelstabilen Implantate gegenüber Hakenplatten [10], Drittelrohrplatten oder Rekonstruktionsplatten durchgesetzt haben. Im Rahmen einer prospektiven randomisierten Studie wurden die Outcomes nach Zuggurtungsosteosynthese und nach winkelstabiler Plattenosteosynthese verglichen. Beide erzielten ähnliche funktionelle Ergebnisse, allerdings war die Komplikationsrate nach Zuggurtung signifikant höher (63 % vs. 38 %; $p = 0,042$). Dies ergab sich insbesondere aufgrund von Metallentfernungen bei symptomatischen Patienten (50 % vs. 22 %; $p = 0,021$, [11]). Zudem bietet die Plattenosteosynthese Vorteile bei komplexen, mehrfragmentären oder langstreckigen Frakturformen und verbessert biomechanisch die interfragmentäre Kompression [7]. Obwohl die Komplikationsraten niedriger sind, bleibt das Problem der mechanischen Weichteilirritation aufgrund des geringen streckseitigen Weichteilüberzugs. Somit sind Metallentfernung aufgrund eines störenden Implantats weiterhin der häufigste Folgeeingriff [12, 13].

Die „Low-profile“-Doppelplattenosteosynthese (Fa. Medartis, Basel, Schweiz) versucht, dieser Problematik Rechnung zu tragen. Zum einen sind die Platten mit 1,6 mm deutlich dünner als andere Plattensysteme. Trotz des dünnen Plattendesigns ist ihre Sta-

Abb. 1 ◀ Olekranonfraktur rechts Typ Schatzker B einer 68 Jahre alten Patientin. **a** Traumabilder a.p. und **b** seitlich. **c** Offene Reposition und Fixation mittels winkelstabiler „low-profile“ Doppelplattenosteosynthese a.p. und **d** seitlich. **e** Klinisches Ergebnis nach 3 Jahren: Extension und **f** Flexion

bilität biomechanisch vergleichbar mit herkömmlichen streckseitigen, winkelstabilen Platten [14]. Zum anderen werden die Platten auf die radiale und dorsale Fläche der Ulna aufgebracht, sodass sie größten teils mit Weichteil bedeckt werden können (▣ **Abb. 1**). Die eigene klinische Erfahrung zeigt, dass sich hiermit Weichteilirritation und Folgeeingriffe im Sinne von Metallentfernungen reduzieren lassen. Klinische Daten diesbezüglich liegen jedoch noch nicht vor.

Koronoidfraktur

Koronoidfrakturen sind seltene Verletzungen, die bei 2–11 % der Ellenbogenluxationen auftreten [15]. Das Vorliegen einer Koronoidfraktur ist als Folge einer Ellenbogenluxation bzw. eines Luxationsmechanismus zu werten, sodass weitere ligamentäre Verletzungen auszuschließen sind. Biomechanisch dient das Koronoid als Stabilisator in der Sagittalebene und als Varus-/Valgusstabilisator. Ein Verlust des Koronoids ab 50 % führt trotz intaktem Kapsel-Band-Apparat zu einer Ellenbogeninstabilität [16]. In Kombination mit einem Verlust des Radiuskopfes führt bereits ein Koronoiddefekt von 30 % zur posterolateralen Luxation [17]. Regan und Morrey haben die Koronoidfrakturen anhand der Fragmentgröße klassifiziert [18]. Folglich wurde davon ausgegangen, dass Typ-I- (bis 25 % des Koronoids) und Typ-II-Frakturen (25–50 % des Koronoids) konservativ behandelt werden können, wohingegen Typ-III-Frakturen mit einem Fragment größer als 50 % operativ zu stabilisieren sind. O'Driscoll et al. fanden jedoch heraus, dass eine Instabilität auch mit kleineren Defekten assoziiert sein kann [19], die komplizierter zu sein scheinen, als anfänglich gedacht. Insbesondere die anteromediale Facette mit dem Tuberculum subliminus, das den Ansatz des medialen Seitenbands (Lig. collaterale mediale, MCL) darstellt, spielt hierbei eine wichtige Rolle. Ihre Beteiligung führt unversorgt unweigerlich zur Instabilität. Die von O'Driscoll et al. eingeführte Klassifikation, die die anteromediale Facette mitberücksichtigt, stellt daher aktuell die bevorzugte

Klassifikation dar [19, 20]. Die Prognose des funktionellen Ergebnisses nach Koronoidfraktur ist im Wesentlichen abhängig von der Frakturklassifikation und von Begleitverletzungen [21]. Die Radiuskopffraktur ist ein relevanter negativer Prädiktor.

Für die operative Versorgung von Koronoidfrakturen existieren unterschiedliche Verfahren. Kleine Spitzenfragmente können reseziert werden, ohne die Stabilität wesentlich zu beeinflussen. Sofern eine Fixation erforderlich ist, stehen transossäre Auszugsnähte, Fadenankersysteme, direkte oder indirekte Schraubenosteosynthesen oder ventrale Plattenosteosynthesen zur Verfügung. Ist das Koronoid nicht mehr zu rekonstruieren, kann eine autologe Knochenspanplastik, z. B. aus dem in Mitleidenschaft gezogenen Radiuskopf oder Beckenkamm, erforderlich sein. Für Frakturen, die die anteromediale Facette mit Beteiligung des Tuberculum subliminus betreffen, sind diese Osteosyntheseverfahren jedoch nur eingeschränkt geeignet. Seit einiger Zeit sind anatomische winkelstabile Plattenosteosynthesen verfügbar (▣ **Abb. 2**), die über

Klassifikation dar [19, 20]. Die Prognose des funktionellen Ergebnisses nach Koronoidfraktur ist im Wesentlichen abhängig von der Frakturklassifikation und von Begleitverletzungen [21]. Die Radiuskopffraktur ist ein relevanter negativer Prädiktor.

Für die operative Versorgung von Koronoidfrakturen existieren unterschiedliche Verfahren. Kleine Spitzenfragmente können reseziert werden, ohne die Stabilität wesentlich zu beeinflussen. Sofern eine Fixation erforderlich ist, stehen transossäre Auszugsnähte, Fadenankersysteme, direkte oder indirekte Schraubenosteosynthesen oder ventrale Plattenosteosynthesen zur Verfügung. Ist das Koronoid nicht mehr zu rekonstruieren, kann eine autologe Knochenspanplastik, z. B. aus dem in Mitleidenschaft gezogenen Radiuskopf oder Beckenkamm, erforderlich sein. Für Frakturen, die die anteromediale Facette mit Beteiligung des Tuberculum subliminus betreffen, sind diese Osteosyntheseverfahren jedoch nur eingeschränkt geeignet. Seit einiger Zeit sind anatomische winkelstabile Plattenosteosynthesen verfügbar (▣ **Abb. 2**), die über

eine medialen Zugang direkt im Bereich der anteromedialen Facette platziert werden (APTUS® Elbow Coronoid Plates 2.0, Fa. Medartis, Basel, Schweiz; Coronoid Plates, Fa. Acumed, Hillsboro, OR, USA). Im biomechanischen Vergleich ist die winkelstabile Koronoidplatte zudem der Schraubenosteosynthese überlegen [22]. Klinische Ergebnisse liegen hierzu noch nicht vor.

Während die offene Reposition und Fixation weiterhin die Standardversorgung darstellt, können ausgewählte Frakturen inzwischen arthroskopisch assistiert versorgt werden. Neben der Reduktion der Zugangsmorbidität können Begleitpathologien detektiert werden. Die transverse 2-Part-Fraktur des Koronoids der O'Driscoll-Typen II und III eignet sich für diese Art der Versorgung. Kleinere Fragmente können über eine „Suture-lasso“-Technik fixiert werden. Bei größeren Frakturen bietet sich die indirekte Kompressionsschraubenosteosynthese an. Um die korrekte Bohrrichtung zu treffen, empfiehlt sich der Einsatz eines entsprechenden Zielinstrumentariums. Die ersten klinischen Ergebnisse sind vielversprechend, auch wenn die Aussagen aufgrund der geringen Fallzahlen limitiert sind [23, 24]. Zudem ist zu bedenken, dass es sich um eine anspruchsvolle Operationstechnik handelt, die im Vergleich zu einem offenen Vorgehen mit einer Verlängerung der Operationszeit einhergehen wird.

Radiuskopffraktur

Die Therapie der Radiuskopffraktur wird in Abhängigkeit von den morphologischen Merkmalen der Fraktur gestellt (Mason-Klassifikation). Die klassische Meißelfraktur mit einer Dislokation oder Gelenkstufe bis zu 2 mm (Mason-Typ I) ist Domäne der konservativen Therapie. Eine Punktion kann zur Schmerzreduktion durchgeführt werden, hat jedoch keinen Einfluss auf das funktionelle Ergebnis [25]. Die Nachbehandlung erfolgt frühfunktionell ohne Belastung für 6 Wochen, wobei anhand regelmäßiger radiologischer Kontrollen ein weiteres Abkippen des Fragments zu kontrollieren ist. Die Versorgung von Mason-Typ-II-Frakturen mit einer Gelenkstufe über

Trauma Berufskrankh 2018 · 20 (Suppl 4):S225–S231
<https://doi.org/10.1007/s10039-018-0378-7>

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2018

A. Ellwein · G. Jensen · J. Geerling · R.-O. DeyHazra · T. Smith · H. Lill

Neue Operationsverfahren am Ellenbogen

Zusammenfassung

Eine Vielzahl von Implantaten und Operationstechniken hat die Versorgungsqualität von Ellenbogenverletzungen in den letzten Jahren verbessert. „Low-profile“-Doppelplatten am Olekranon scheinen mechanische Weichteilirritationen reduzieren und winkelstabile Koronoidplatten die Versorgung der anteromedialen Facette erleichtern zu können. Ausgewählte Radiuskopf- und Koronoidfrakturen können zudem arthroskopisch assistiert versorgt werden, wodurch Begleitpathologien detektiert werden können. Neue Repositionstechniken

am distalen Humerus erleichtern die Versorgung komplexer intraartikulärer Frakturen. Verletzungen des „lateral ulnar collateral ligament“ (LUCL) nach Ellenbogenluxation können zudem mithilfe des „Internal Bracing“ stabilisiert werden, wodurch eine sofortige frühfunktionelle Nachbehandlung aufgrund der hohen Primärstabilität ermöglicht wird.

Schlüsselwörter

„Internal Bracing“ · Arthroskopie · Frakturfixation · Frakturosteosynthese · Olekranon

New operative procedures on the elbow

Abstract

A large number of implants and operation techniques have improved the quality of care for injuries of the elbow over recent years. Low-profile implants of the olecranon seem to reduce soft tissue mechanical irritation. Furthermore, angle-stable coronoid plates have simplified the treatment of the anteromedial facet of the coronoid. Selected fractures of the radial head and coronoid can be treated arthroscopically assisted, whereby concomitant injuries can be detected and treated. New reduction techniques have

simplified the treatment of complex intra-articular distal humeral fractures. Ruptures of the lateral ulnar collateral ligament (LUCL) after elbow dislocation can be stabilized by an additional internal bracing, which allows an early functional aftercare due to the increased primary stability.

Keywords

Internal bracing · Arthroscopy · Fracture fixation · Fracture osteosynthesis · Olecranon

2 mm ist aktuell in der Diskussion. Erste Studien konnten gute klinische Langzeitergebnisse nach konservativer Therapie nachweisen [26, 27]. Dennoch sind nach operativer Therapie zuverlässigere klinische und funktionelle Ergebnisse mit geringeren Arthroseraten zu beobachten [28].

Mit zunehmender Frakturdislokation oder -schwere ist das steigende Risiko für Begleitverletzungen zu beachten. Die arthroskopisch assistierte Frakturversorgung bietet den Vorteil, diese Begleitverletzung evaluieren und gleichzeitig adressieren zu können. Zur arthroskopischen Frakturversorgung eignen sich ausschließliche Mason-Typ-II-Frakturen. Nach Abschluss des diagnostischen Rundgangs mit Instabilitätsdiagnostik wird der Radiuskopf über das hoch dorsoradiale Portal eingestellt.

Das Frakturhämatom wird mithilfe des „shaver“ über das „Soft-spot“-Portal entfernt und die Reposition mithilfe des Elevatoriums über ein zusätzliches laterales Portal, alternativ über das anterolaterale Portal mit Kammerablick von anteromedial, durchgeführt. Zwei K-Drähte werden von lateral senkrecht zum Frakturspalt und horizontal zur Gelenkebene eingebracht. Hierfür kann eine Rotation des Unterarms erforderlich sein. Die Schraubenlänge wird indirekt anhand des überstehenden K-Drahts bestimmt. Nach radiologischer Kontrolle der K-Draht-Lage werden diese überbohrt und das Fragment über entsprechende kanülierte Kompressionsschrauben fixiert [29]. Erste klinische Fallserien zeigen gute Ergebnisse [30, 31]. Aber auch hier handelt es sich um eine

Abb. 2 ▲ Luxationsmechanismus des linken Ellenbogens mit Koronoidfraktur Typ O'Driscoll 2b sowie Ruptur des „lateral ulnar collateral ligament“ (LUCL) einer 52 Jahre alten Patientin. **a** Traumabilder a.p. und **b** seitlich. **c** CT mit **d** 3D-Rekonstruktion: Fraktur der anteromedialen Facette ohne Tuberculum subliminus. **e** Offene Reposition und Fixation mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese, LUCL-Refixation a.p. und **f** seitlich. **g** Klinisches Ergebnis 6 Wochen postoperativ: Flexion und **h** Extension

Abb. 3 ◀ „Column reposition“. **a** Reposition des Pfeilerfragments anhand des knöchernen Spickels, **b** Reposition weiterer Gelenkfragmente entlang des Olekranon, ggf. Fixation mithilfe „verlorener“ Schrauben, **c** Reposition und Fixation der zweiten Säule. (Aus Dey Hazraet al. [36])

technisch anspruchsvolle Versorgung bei verlängerter Operationszeit.

Distale Humerusfraktur

Distale Humerusfrakturen sind technisch anspruchsvoll zu behandelnde Verletzungen. Aufgrund des demografischen Wandels ist mit einer steigenden Anzahl geriatrischer Patienten mit osteoporotischer Knochenstruktur und komplexen Frakturmustern zu rechnen [32]. Eine besondere Herausforderung stellen die intraartikulären Typ-C-Frakturen gemäß der AO-Klassifikation dar. Die offene Reposition und Fixation mithilfe der winkelstabilen Doppelplattenosteosynthese stellt das Therapieverfahren der Wahl dar [33]. Ziel ist die stabile Fixation zur frühfunktionellen Nachbehandlung. Die Ellenbogenprothese kann in Ausnahmefällen bei nichtrekonstruierbaren Frakturen unter Berücksichtigung ihrer Limitationen mit lebenslanger Belas-

Abb. 4 ◀ „Internal bracing“ des „lateral ulnar collateral ligament“ (LUCL). **a** Ulnare Fixation des „Internal Bracing“ auf Höhe des Radius Halses, **b** Bestimmung des humeralen Drehzentrums, **c** Armierung des LUCL-Stumpfes und gemeinsames Einfädeln mit dem Internal bracing in einen weiteren Anker, **d** „Internal Bracing“ über dem refixierten LUCL

tungslimitierung und eingeschränkter Revisionsmöglichkeit eine Alternative mit guten funktionellen Ergebnissen sein.

Für die Typ-C-Frakturen nach AO-Klassifikation wird ein dorsaler Zugang gewählt. Wilkinson und Stanley konnten am anatomischen Präparat zeigen, dass über eine Olekranonosteotomie der größte mögliche Gelenkanteil eingesehen werden kann [34]. Zwar erleichtert dies die anatomische Reposition, jedoch muss am Ende einer anspruchsvollen Operation eine suffiziente Versorgung der Olekranonosteotomie durchgeführt werden. Diese iatrogene Fraktur muss im Verlauf zusätzlich zur Ausheilung gebracht werden, wobei ein gewisses Komplikationsrisiko bezüglich verzögerter Knochenbruchheilung, Pseudarthrosenentwicklung oder Infektion verbleibt. Das zusätzliche Implantat birgt zudem das Risiko mechanischer Weichteilirritationen mit Folgeeingriffen im Sinne von Materialentfernungen. Eine weitere Schwierigkeit stellt die Reposition insbesondere in einer mehrfragmentären Situation dar. Entsprechend der AO-Empfehlung sollen die einzelnen Frak-

turfragmente mit K-Drähten aufgefädelt werden, um diese in Joystick-Technik zu dirigieren. Zunächst wird der Gelenkblock gestellt und mithilfe einer transkondylären Schraube fixiert. Der Gelenkblock wird anschließend an den Schaft reponiert und mit winkelstabilen Platten fixiert [35].

Aufgrund dieser doch anspruchsvollen Repositionstechnik und der Komplikationen durch die Osteosynthese der Olekranonosteotomie haben die Autoren des vorliegenden Beitrags eigene Versorgungsmöglichkeiten von C-Frakturen des distalen Humerus analysiert. Radiologisch fiel auf, dass bis auf die „Low-plane“-Frakturen bei allen weiteren Frakturen entweder an der radialen oder ulnaren Säule ein Pfeilerfragment mit knöchernem Frakturausläufer vorlag. Hieraus entstand die Überlegung der „column reposition“ (▣ Abb. 3; [36]), bei der dieser Spickel als Repositionshilfe genutzt wird und der Streckapparat intakt bleibt. Die Fraktur wird nach Darstellung des N. ulnaris über einen paratrizipitalen Zugang versorgt. Entsprechend der präoperativen Diagnostik wird zunächst das radiale bzw. ulnare Pfeilerfragment aufgesucht,

reponiert und mit der entsprechenden winkelstabilen Plattenosteosynthese fixiert. Auf diese Weise ist die erste Säule der Fraktur bereits versorgt. Weitere Gelenkfragmente können nun von der Gegenseite an die fixierte Säule reponiert werden. Das Olekranon dient als Repositionshilfe, an dessen Gelenkfläche die Fragmente vorgeschoben werden. Einzelne Fragmente können ggf. über „verlorene Schrauben“ fixiert werden. Abschließend erfolgt die Reposition des verbliebenen Pfeilers. Eine zusätzliche Kondylenschraube kann vor Anlage der zweiten Platte sinnvoll sein, um Kompression auf den Gelenkblock zu bringen.

Hinsichtlich der Plattenlage werden die 90°- und 180°-Konfiguration weiterhin kontrovers diskutiert. Biomechanisch konnte für die parallele Plattenlage eine höhere Stabilität nachgewiesen werden (180°-Konfiguration, [37, 38]). Klinisch findet sich jedoch kein Unterschied [39]. Bei paralleler Plattenlage kann es aufgrund der auf sich zulaufenden Schrauben zu Blockierungen beim Einbringen kommen. Aus diesem Grund empfehlen die Autoren,

die Plattenlage in Abhängigkeit von der Frakturform sowie Präferenz des Operateurs zu wählen.

Hinsichtlich der Plattenlänge war bisher die gängige Meinung, die Platten nicht auf derselben Höhe enden zu lassen, um Stresskonzentrationen am Plattenende zu vermeiden. Hackl et al. konnten im biomechanischen Modell zeigen, dass nicht die Plattenlänge, sondern die Lage der beiden proximalen Schrauben entscheidend ist [40]. Kommen diese auf gleicher Höhe zu liegen, steigt das Risiko für Periimplantatfrakturen.

Ligamentäre Ellenbogenluxation

Die einfache Ellenbogenluxation beschreibt Luxationen, die ausschließlich Verletzungen der Kapsel-Band-Strukturen ohne knöcherne Beteiligung aufweisen. Da der Begriff „einfach“ eine schwerwiegende Verletzung bagatellisiert, wird zunehmend von „ligamentären“ und „knöchernen“ Luxationen gesprochen.

O'Driscoll et al. beschreiben bei posterolateraler Luxation des Ellenbogens eine kreisförmige Ruptur der Kapsel-Band-Strukturen, die ausgehend vom lateralen ulnaren Seitenband („lateral ulnar collateral ligament“, LUCL) nach medial über die ventrale und dorsale Kapsel zieht [41]. Sofern das Ellenbogengelenk nach Ruptur des LUCL nicht muskulär stabilisiert werden kann, resultiert eine posterolaterale Instabilität. Die operative Therapie besteht daher in der Akutphase in der Refixation des LUCL. Um das sichere Einheilen der refixierten Strukturen zu ermöglichen, wird die Bewegung bis zum Abschluss der 6. postoperativen Woche limitiert. Eine fehlende frühzeitige Mobilisation im gesamten Bewegungsumfang kann jedoch zu persistierenden Bewegungseinschränkungen führen. Der Bewegungsfixateur ermöglicht eine frühzeitige Bewegung bei gleichzeitigem Schutz der refixierten Strukturen. Jedoch setzt der Bewegungsfixateur eine hohe Akzeptanz und Compliance des Patienten voraus und weist Komplikationsraten bis zu 47 % auf [42]. Die korrekte Einstellung des Drehzentrums stellt den Operateur zudem vor eine nichtzuunterschätzende Herausforderung.

Das „Internal Bracing“ des Ellenbogens ist eine Alternative, bei der ein zusätzliches FiberTape® (Fa. Arthrex, München, Deutschland) im Verlauf der refixierten Bandstruktur eingebracht und mithilfe eines Fadenankers im Knochen fixiert wird (Abb. 4). Ziel ist es, die auf den Ellenbogen wirkenden Kräfte auf das FiberTape® zu übertragen, ohne die Einheilung der refixierten Strukturen zu gefährden. Die erhöhte Primärstabilität ermöglicht die direkte postoperative, frühfunktionelle Nachbehandlung, wodurch die Reduktion von Bewegungseinschränkungen erwartet wird. Aktuell liegen weder klinische noch biomechanische Daten zum „Internal Bracing“ des LUCL vor. Lediglich für das MCL konnte gezeigt werden, dass das „Internal Bracing“ eine vergleichbare biomechanische Stabilität aufweist wie die Bandplastik [43].

Fazit für die Praxis

- Die Doppelplattenosteosynthese am Olekranon scheint aufgrund des Low-profile-Designs sowie der radialen und dorsalen Plattenlage mit fast vollständiger Weichteilbedeckung Weichteilirritationen zu reduzieren.
- Das Tuberculum subliminum spielt in der Beurteilung der Koronoidfrakturen hinsichtlich der medialen Stabilität eine relevante Rolle, was in der O'Driscoll-Klassifikation berücksichtigt wird. Moderne Plattenosteosynthesen sind geeignet, dieses über einen medialen Zugang zu adressieren.
- Ausgewählte Koronoidfrakturen können arthroskopisch versorgt werden, wobei die Technik anspruchsvoll ist und die Operationszeit verlängert wird.
- Die arthroskopisch assistierte Versorgung von Radiuskopffrakturen (Mason-Typ II) ermöglicht die gleichzeitige Evaluation und Versorgung von Begleitverletzungen.
- Die „column reposition“ intraartikulärer distaler Humerusfrakturen ist eine alternative Repositionstechnik unter Erhalt des Streckapparats.
- Das additive „internal bracing“ zur Versorgung von LUCL-Rupturen erhöht die Primärstabilität und ermög-

licht die sofortige frühfunktionelle Nachbehandlung.

Korrespondenzadresse

Dr. A. Ellwein
Department Schulter-, Knie- und Sportorthopädie, DIAKOVERE Annastift, Orthopädische Klinik der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH)
Anna-von-Borries-Str. 1–7, 30625 Hannover, Deutschland
alexander.ellwein@diakovere.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. H. Lill ist Consultant für Arthrex (Karlsfeld, Deutschland) und DePuy Synthes (Umkirch, Deutschland). T. Smith ist Consultant für DePuy Synthes (Umkirch, Deutschland). A. Ellwein, G. Jensen, J. Geerling und R.-O. Dey-Hazra geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

The supplement containing this article is not sponsored by industry.

Literatur

1. Veillette C, Steinmann S (2008) Olecranon fractures. Orthop Clin North Am 39:229–236
2. Schatzker J (2005) Fractures of the olecranon. In: Schatzker J, Tile M (Hrsg) The rationale of operative fracture care. Springer, Berlin
3. Marot V, Bayle-Iniguez X, Cavaignac E, Bonneville N, Mansat P, Murgier J (2018) Results of non-operative treatment of olecranon fracture in over 75-year-olds. Orthop Traumatol Surg Res 104:79–82
4. Duckworth AD, Clement ND, McEachan JE, White TO, Court-Brown CM, McQueen MM (2017) Prospective randomised trial of nonoperative versus operative management of olecranon fractures in the elderly. Bone Joint J 99B:964–972
5. Schneider MM, Nowak TE, Bastian L, Katthagen JC, Isenberg J, Rommens PM et al (2014) Tension band wiring in olecranon fractures: the myth of technical simplicity and osteosynthetic perfection. Int Orthop 38:847–855
6. Brink PRG, Windolf M, De Boer P, Brianza S, Braunstein V, Schiewer K (2013) Tension band wiring of the olecranon: Is it really a dynamic principle of osteosynthesis? Injury 44:518–522
7. Wilson J, Bajwa A, Kamath V, Rangan A (2011) Biomechanical comparison of interfragmentary compression in transverse fractures of the olecranon. J Bone Joint Surg Br 93-B:245–250
8. Chaidis BE, Sachinis NC, Samoladas EP, Dimitriou CG, Pournaras JD (2008) Is tension band wiring technique the „gold standard“ for the treatment

- of olecranon fractures? A long term functional outcome study. *J Orthop Surg Res* 3:1–6
9. Helm RH, Hornby R, Miller SW (1987) The complications of surgical treatment of displaced fractures of the olecranon. *Injury* 18:48–50
 10. Wagner FC, Hölz T, Hohloch L, Suedkamp NP, Reising K (2017) Neues Hakenplattensystem für Olekranonfrakturen und -osteotomien: Klinische Ergebnisse. *Obere Extremität* 13:38–44
 11. Duckworth AD, Clement ND, White TO, Court-Brown CM, McQueen MM (2017) Plate versus tension-band wire fixation for olecranon fractures. *J Bone Joint Surg Am* 99:1261–1273
 12. Claessen FMAP, Braun Y, Peters RM, Dyer G, Doornberg JN, Ring D (2016) Factors associated with reoperation after fixation of displaced olecranon fractures. *Clin Orthop Relat Res* 474:193–200
 13. Bailey CS, MacDermid J, Patterson SD, King GJ (2001) Outcome of plate fixation of olecranon fractures. *J Orthop Trauma* 15:542–548
 14. Hackl M, Mayer K, Weber M, Staat M, van Riet R, Burkhart KJ et al (2017) Plate osteosynthesis of proximal ulna fractures—a biomechanical micromotion analysis. *J Hand Surg Am* 42:834.e1–834.e7. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2017.05.014>
 15. Morrey B, Sanchez-Sotelo J (2009) The elbow and its disorders. WB Saunders, Philadelphia
 16. Closkey R, Goode J, Kirschenbaum D, Cody R (2000) The role of the coronoid process in elbow stability. *J Bone Joint Surg Am* 82:1749–1753
 17. Schneeberger A, Sadowski M, Jabcob H (2004) Coronoid process and radial head as posterolateral rotatory stabilizers of the elbow. *J Bone Joint Surg Am* 86:975–982
 18. Regan W, Morrey B (1989) Fractures of the coronoid process of the ulna. *J Bone Joint Surg Am* 71:1348–1354
 19. O'Driscoll S, Juipeter J, Cohen M, Ring D, McKee M (2003) Difficult elbow fractures: pearls and pitfalls. *Instr Course Lect* 52:113–134
 20. Doornberg JN, Ring D (2006) Fracture of the anteromedial facet of the coronoid process. *J Bone Joint Surg Am* 88:2216–2224
 21. Adams JE, Hoskin TL, Morrey BF, Steinmann SP (2009) Management and outcome of 103 acute fractures of the coronoid process of the ulna. *J Bone Joint Surg Br* 91:632–635
 22. Kiene J, Bogun J, Brockhaus N, Waizner K, Schulz A-P, Wendlandt R (2014) Biomechanical testing of a novel osteosynthesis plate for the ulnar coronoid process. *Shoulder Elbow* 6:191–199
 23. Hausman MR, Klug RA, Qureshi S, Goldstein R, Parsons BO (2008) Arthroscopically assisted coronoid fracture fixation: a preliminary report. *Clin Orthop Relat Res* 466:3147–3152
 24. Adams JE, Merten SM, Steinmann SP (2007) Arthroscopic-assisted treatment of coronoid fractures. *Arthroscopy* 23:1060–1065
 25. Holdsworth BJ, Clement DA, Rothwell PNR (1987) Fractures of the radial head—the benefit of aspiration: a prospective controlled trial. *Injury* 18:44–47
 26. Akeson T, Herbertsson P, Josefsson P-O, Hasserijs R, Besjakov J, Karlsson MK (2006) Primary nonoperative treatment of moderately displaced two-part fractures of the radial head. *J Bone Joint Surg Am* 88:1909–1914
 27. Duckworth AD, Wickramasinghe NR, Clement ND, Court-Brown CM, McQueen MM (2014) Long-term outcomes of isolated stable radial head fractures. *J Bone Joint Surg Am* 96:1716–1723
 28. Kaas L, Struijs PAA, Ring D, Van Dijk CN, Eygendaal D (2012) Treatment of mason type II radial head fractures without associated fractures or elbow dislocation: a systematic review. *J Hand Surg Am* 37:1416–1421
 29. Hackl M, Müller LP, Wegmann K (2018) Arthroskopisch assistierte Frakturversorgung am Ellenbogen. *Obere Extremität* 13:14–22
 30. Michels F, Pouliart N, Handelberg F (2007) Arthroscopic management of Mason type 2 radial head fractures. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 15:1244–1250. <https://doi.org/10.1007/s00167-007-0378-9>
 31. Rolla P, Surace M, Bini A, Pilato G (2006) Arthroscopic treatment of fractures of the radial head. *Arthroscopy* 22:233.e1–233.e6
 32. Palvanen M, Kannus P, Niemi S, Parkkari J (2010) Secular trends in distal humeral fractures of elderly women: nationwide statistics in Finland between 1970 and 2007. *Bone* 46:1355–1358
 33. Ellwein A, Lill H, Voigt C, Wirtz P, Jensen G, Katthagen JC (2015) Arthroplasty compared to internal fixation by locking plate osteosynthesis in comminuted fractures of the distal humerus. *Int Orthop* 39:747–754
 34. Wilkinson JM, Stanley D (2001) Posterior surgical approaches to the elbow: a comparative anatomic study. *J Shoulder Elbow Surg* 10:380–382
 35. Müller M, Allgöwer M, Schnider R, Willenegger H (1992) Manual der Osteosynthese. Springer, Berlin, Heidelberg, New York
 36. Dey Hazra R-O, Lill H, Jensen G, Imrecke J, Ellwein A (2018) Fracture-pattern-related therapy concepts in distal humeral fractures. *Obere Extremität* 13:23–32
 37. Kollias CM, Darcy SP, Reed JGR, Rosvold JM, Shrive NG, Hildebrand KA (2010) Distal humerus internal fixation: a biomechanical comparison of 90° and parallel constructs. *Am J Orthop (Belle Mead, NJ)* 39:440–444
 38. Zalavras CG, Vercillo MT, Jun B-J, Otardifard K, Itamura JM, Lee TQ (2011) Biomechanical evaluation of parallel versus orthogonal plate fixation of intra-articular distal humerus fractures. *J Shoulder Elbow Surg* 20:12–20
 39. Shin S-J, Sohn H-S, Do N-H (2010) A clinical comparison of two different double plating methods for intraarticular distal humerus fractures. *J Shoulder Elbow Surg* 19:2–9
 40. Hackl M, Wegmann K, Taibah S, Burkhart KJ, Scaal M, Müller LP (2015) Peri-implant failure in dual plating of the distal humerus—a biomechanical analysis with regard to screw and plate positioning. *Injury* 46:2142–2145
 41. O'Driscoll SW, Morrey BF, Korinek S, An KN (1992) Elbow subluxation and dislocation. A spectrum of instability. *Clin Orthop Relat Res* 280:186–197
 42. Ring D, Bruinsma WE, Jupiter JB (2014) Complications of hinged external fixation compared with cross-pinning of the elbow for acute and subacute instability. *Clin Orthop Relat Res* 472:2044–2048
 43. Dugas JR, Walters BL, Beason DP, Fleisig GS, Chronister JE (2016) Biomechanical comparison of ulnar collateral ligament repair with internal bracing versus modified Jobe reconstruction. *Am J Sports Med* 44:735–741