

Winkelstabile Plattenosteosynthese

Gabriele Rußow, Michael Schütz, Arne Berner

Entwicklung und Hintergrund

Die winkelstabile Plattenosteosynthese ist aus der modernen Unfallchirurgie und Orthopädie nicht mehr weg zu denken. Sie hat unterschiedliche Entwicklungsschritte durchgemacht, bis sie schließlich bei dem Produkt angekommen ist, das heute so weit verbreitet ist. Die ersten Osteosynthesen, welche neben dem 1852 von Bernhard von Langenbeck vorgestellten Fixateur externe [1] einen gewissen Grad der Winkelstabilität erreichen konnten, waren die aus den 40er-Jahren stammenden Winkelplatten [2]. Diese Platten sind heute noch verfügbar und haben eine Klinge, die in einem bestimmten Winkel zum Rest der Platte steht und bei Anbringen der Platte in den Knochen eingebracht wird. Nach Fixierung der Platte über bikortikale Schrauben kann so ein frakturüberbrückendes Konstrukt gebildet werden, was zumindest auf einer Seite winkelstabil ist (► **Abb. 1**).

Erste winkelstabile Platten ohne Klinge, die das mechanische Verhalten eines Fixateur externe imitieren sollten, wurden mit bereits auf dem Markt vorhandenen Platten und speziell angefertigten Schrauben und Muttern hergestellt [3]. Eines der ersten winkelstabilen Systeme, das sowohl als Fixateur externe als auch interne benutzt werden konnte, war das in den 70er-Jahren in Polen entwickelte Zespol-System [4]. (► **Abb. 2**)

Bei diesem System wurden zunächst sogenannte Plattform-Schrauben auf beiden Seiten der Fraktur eingebracht, auf denen dann die Platte mittels Muttern fixiert wurde. Es gab ähnliche Bemühungen, die Dynamic Compression Plate mit einem speziellen Mutter- und Unterscheibensystem so zu nutzen, dass hier ein ähnlich rigides Konstrukt hergestellt werden konnte [5].

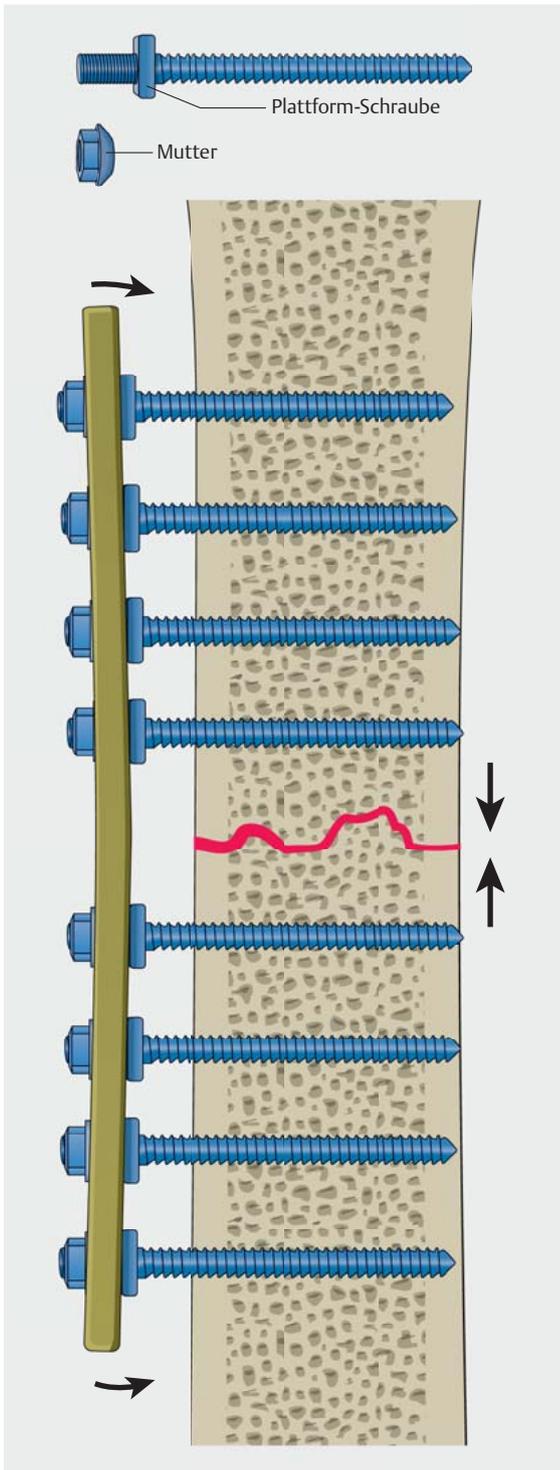
Die moderne winkelstabile Plattenosteosynthese basiert auf Entwicklungen der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO). Mit ihrer Etablierung kurz vor der Jahrtausendwende sind die meisten vorangegangenen Systeme überholt worden. Hierbei kann auf komplizierte Systeme mit Muttern verzichtet werden, indem ein Gewinde im Kopf der winkelstabilen Schraube beim Hereindrehen direkt in der Platte fixiert wird (► **Abb. 3**).

Je nach Plattenhersteller gibt es hier unterschiedliche Lochkonfigurationen, die dies erlauben.



► **Abb. 1** Schematische Darstellung einer Klingenplatte.
Quelle: H. Illes, München.

Die Osteosynthese einer einfachen Fraktur, bei der durch Einbringen von Zugschrauben oder durch Nutzen einer Kompressionsplatte direkter Druck auf den Frakturspalt ausgeübt werden kann, hat meist das Ziel der primären Knochenheilung ohne wesentliche Kallusbildung. Bei komplexen Frakturen, beispielsweise mit Trümmerzone, ist eine direkte Kompression der Fragmente durch die Osteosynthese nicht möglich und auch nicht nötig, da die noch erhaltene Biologie (beziehungsweise Durchblutung) der Fragmente nicht durch die Operation zerstört werden soll. Die Fragmente einer solchen Fraktur sind nicht groß genug, um Zugschrauben zu nutzen, und eine Kompressionsplatte erzeugt bei einer Fraktur ohne kortikale Abstützung eine Dislokation der kleinen Fragmente in der Trümmerzone und eine Verkürzung des Knochens. Ziel der Osteosynthese solcher Frakturen ist also eine sekundäre Knochenheilung, bei der sich ein Frakturkallus aus Geflechtknochen bildet, der dann über Monate bis Jahre hinweg zu Lamellenknochen umgebaut wird.



► **Abb. 2** Zespol-System.

Eine nicht winkelstabile Osteosynthese einer Röhrenknochenfraktur mit Trümmerzone, die ohne Längenverlust erfolgen soll, erfordert eine ausreichende Fixierung der proximal und distal der Trümmerzone gelegenen Knochenanteile gegen die Platte, beispielsweise, indem bikortikale Schrauben mit sehr hoher Drehfestigkeit eingebracht werden. Hierbei wird die Platte fest auf die Kno-

chenoberfläche gedrückt, was das Periost schädigt und somit die lokale Wirkung des Periosts auf die Frakturheilung beträchtlich einschränken kann.

Die winkelstabile Plattenosteosynthese vermeidet dieses Problem. Durch die winkelstabile Fixierung der Schrauben an die Platte fungiert diese als die Frakturzone überbrückender Kraftträger, im Sinne eines Fixateur interne, ohne dass es einer Kompression der Frakturteile gegen die Platte bedarf.

Merke

Die Durchblutung des Knochens über das Periost wird bei einer winkelstabilen Plattenosteosynthese nicht so beeinträchtigt wie bei einer konventionellen Plattenosteosynthese, die eine Kompression der Platte auf den Knochen erfordert, um Stabilität zu gewährleisten.

Biomechanische Aspekte

Durch das Gewinde im Kopf der winkelstabilen Schraube entsteht bei Fixierung der Schraube in der Platte aus diesen Teilen eine mechanische Einheit (► **Abb. 4**).

Diese ist biomechanisch mit einem Fixateur externe vergleichbar und wird deshalb auch Fixateur interne genannt.

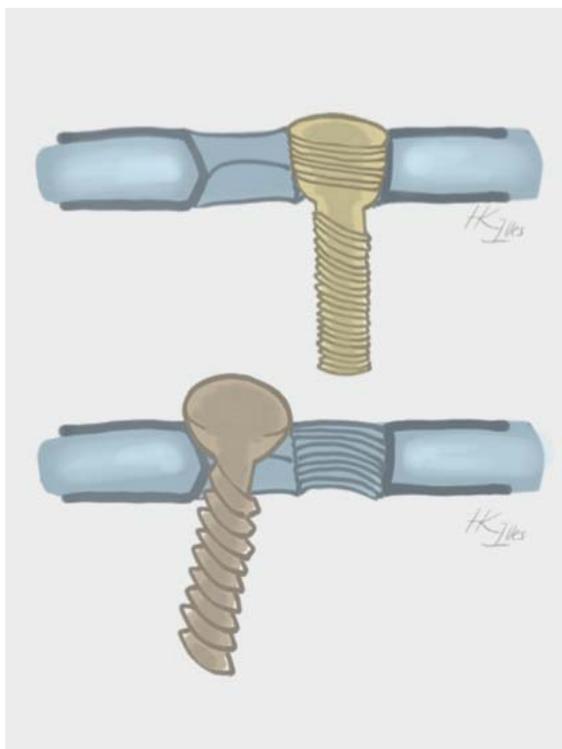
Die Steifigkeit dieses Konstruktes (der Widerstand gegen Verformung durch von außen einwirkende Kräfte) wird durch unterschiedliche Eigenschaften beeinflusst [6]:

- die Materialeigenschaften der verwendeten Implantate (Titan hat hier eine deutlich höhere Elastizität als Stahl);
- die Form und Dicke der Implantate (vor allem der Platte, aber auch der Schrauben);
- den Abstand der Platte zum Knochen (je größer der Abstand der Platte zum Knochen, desto größer der „Hebel“, den die Frakturteile bei einwirkender Kraft über die Schrauben auf die Platte ausüben können);
- die freie Schwingstrecke (der Abstand der fraktur nächsten Schrauben zueinander; je größer dieser Abstand ist, desto mehr Verformung kann über dieser Strecke entstehen).

Ziel der winkelstabilen Osteosynthese ist eine überbrückende Osteosynthese, die steif genug ist, um eine Knochenheilung zu ermöglichen, aber dennoch eine geringfügige interfragmentäre Bewegung in der Frakturzone erlaubt, um eine mechanische Stimulation der Knochenheilung zu liefern.

Merke

Winkelstabile Plattenosteosynthesen fungieren als frakturüberbrückender Kraftträger. Ziel der meisten winkelstabilen Osteosynthesen ist eine sekundäre Frakturheilung über einen Frakturkallus.



► **Abb. 3** Oben: winkelstabile Schraube, hier greift ein Gewinde im Kopf der Schraube in das Loch. Unten: nicht winkelstabile Schraube, hier ist der Winkel der Schraube im Loch variabel. Quelle: H. Illes, München.

Weiterentwicklung der Winkelstabilität

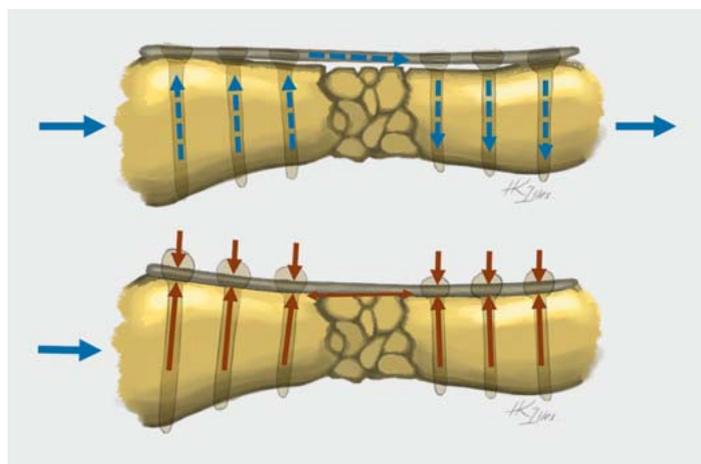
Viele winkelstabile Platten haben Kombinationslöcher, in die man sowohl winkelstabile als auch nicht winkelstabile Schrauben einbringen kann (► **Abb. 3**). Die Locking Compression Plate (LCP, Firma Synthes) ist ein Beispiel hierfür; sie ermöglicht es, die unterschiedlichen Schrauben flexibel einzubringen, um in Abhängigkeit von der Frakturmorphologie eine angepasste Fixierung durchzuführen.

In den ersten winkelstabilen Systemen konnten Schrauben nur in einem vorgegebenen Winkel zur Plattenoberfläche eingebracht werden, sodass das Gewinde im Schraubenkopf in dem Gewinde im Schraubenloch adäquat greifen und verriegeln kann. Dieser Winkel beträgt meist 90° und erlaubt in vielen Fällen keine Anpassung an die Frakturmorphologie. Neuere Systeme versuchen, dieses Problem zu beheben, indem sie eine Verriegelung mit variablem Winkel ermöglichen.

Es gibt unterschiedliche Technologien zur Herstellung der polyaxialen winkelstabilen Schrauben. Bei einigen Systemen besteht der Schraubenkopf aus einem härteren Metall, welches sich beim Hereindrehen im weicheren Metall der Platte ein Gewinde schneidet. Bei anderen Platten gibt es, anstatt eines vollständig vorgeschrittenen Gewindes, nur eine sternförmige Mehrpunktfixierung im Schraubenloch, in der das Gewinde im Schraubenkopf greifen kann. Wieder andere nutzen eine zusätzliche Verschlusskappe, die nach Einbringen der Schraube über dieser im Schraubenloch fixiert wird und so die Winkelstabilität erzeugt [7].

In klinischen und biomechanischen Studien haben polyaxiale winkelstabile Implantate im distalen Radius einen Vorteil bezüglich der Weichteilkomplikationen gegenüber normalen winkelstabilen Implantaten gezeigt bei gleicher oder besserer Stabilität [8, 9]. Durch eine geringere Torsionssteifigkeit haben polyaxiale winkelstabile Platten bei lasttragenden Knochen der unteren Extremität ein erhöhtes Risiko ein frühzeitiges Implantatversagen zu erleiden als konventionelle winkelstabile Implantate [10, 11].

Dank der winkelstabilen Platte als Fixateur interne ist weder eine exakte Anpassung der Platte an die Knochenform notwendig, noch muss jede Fraktur zur exakten Reposition offen dargestellt werden. Es sind somit alle Voraussetzungen gegeben, um eine minimalinvasive Plattenosteosynthese durchzuführen. Hierbei werden anatomisch vorgeformte Platten über kleinere Inzisionen eingeschoben. Mithilfe eines Zielbügels können Schrauben im Schaftbereich über kleine Inzisionen punktgenau platziert werden. Diese Technik ist mit einem deutlich reduzierten Weichteiltrauma dank einer Verkleinerung des operativen Zugangsweges verbunden.



► **Abb. 4** Oben: winkelstabile Plattenosteosynthese; hier wird eine einwirkende axiale Kraft über das winkelstabile Konstrukt um die Frakturzone umgeleitet (blaue Pfeile). Unten: nicht winkelstabile Plattenosteosynthese, hier wird bei axialer Belastung einer möglichen Bewegung der Schraube in der Platte durch eine hohe Drehfestigkeit der Schrauben gegen die Platte und durch die Reibung zwischen Knochenoberfläche und Platte entgegengewirkt. Quelle: H. Illes, München.

Besondere Aspekte

Osteoporotischer Knochen

Durch die reduzierte Knochendichte in osteoporotischem Knochen haben Schrauben hier einen schlechteren Halt. Verlässt sich die Osteosynthese einer mehrfragmentären Fraktur nun vorwiegend auf den Schraubenzug der Frakturteile gegen die Platte, wie bei einem nicht winkelstabilen Implantat, so ist dies bei osteoporotischem Knochen anfälliger für einen Repositionsverlust und ein Implantatversagen als bei einem Knochen mit regulärer Knochendichte. Vor Einführung der winkelstabilen Platten wurden deshalb Osteosynthesen häufig als Verbundosteosynthese durchgeführt, um den Halt der Schraube im Knochen zu verbessern [12]. Hierbei wird ein Knochenzement eingespritzt, welcher je nach Material (z. B. Polymethylmethacrylat) meist keine gute Adhäsion an der Trabekelstruktur bietet, jedoch die Hohlräume auffüllt und so für besseren Schraubenhalt sorgt.

Obwohl Verbundosteosynthesen nach wie vor einige Indikationen haben, so ist der Einsatz bei der allgemeinen Frakturversorgung mit Einführung der winkelstabilen Implantate zurückgegangen [13]. Winkelstabile Implantate zeigen in osteoporotischem Knochen eine bessere Verankerung als nicht winkelstabile Implantate, insbesondere bei bikortikal eingebrachten Schrauben.

Merke

Winkelstabile Platten erlauben durch ihre biomechanischen Grundvoraussetzungen eine steifere Fixierung von Knochen mit schlechterer Knochendichte.

Komplikationen

Kommt es bei winkelstabilen Platten zu einem Implantatversagen oder Repositionsverlust, so liegt dies in der Regel nicht an mangelndem Halt im Knochen, sondern an einem Versagen der Schraube an dem Punkt, wo die Kraftübertragung an die Platte stattfindet [14]. Winkelstabile Schrauben brechen also meist zwischen Knochenoberfläche und Plattenunterseite.

Weiterhin gilt bei der Verwendung winkelstabiler Platten zu beachten, dass die Schraubenköpfe mit der Platte verblocken können, beispielsweise, wenn die Schraube mit viel Kraft ohne Drehmomentbegrenzer eingebracht wurde. Eine verblockte Schraube zu entfernen kann ein Überbohren des Schraubenkopfes zur Entfernung notwendig machen.

Merke

Bei der Indikationsstellung und operativen Durchführung sollte ein zu starkes Anziehen der Schrauben in der Platte verhindert werden, indem ein Drehmomentbegrenzer genutzt wird.

Anwendungsbeispiele

Humerus

Die Humeruskopffraktur stellt neben der distalen Radiusfraktur eine der häufigsten Indikationen für eine winkelstabile Plattenosteosynthese dar. Winkelstabile Schrauben müssen nicht bikortikal eingebracht werden, um einen adäquaten Halt zu liefern, und sollten bei einer lateral eingebrachten Platte so platziert werden, dass sie das Gelenk nicht infiltrieren. Ein Großteil der Humeruskopffrakturen findet im höheren Patientenalter statt und ist mit geringerer Knochendichte verbunden; winkelstabile Plattenosteosynthesen mit vorgeformten Implantaten, wie beispielsweise das von der AO zugelassene Proximal Humeral Internal Locking System (PHILOS, Firma Synthes), haben hier in biomechanischen Testungen eine deutliche Überlegenheit nicht winkelstabilen Implantaten gegenüber gezeigt. Je nach Frakturmorphologie und Knochenqualität ist zusätzlich eine Augmentation der Schrauben mit Zement möglich oder die zusätzliche Implantation eines Allografts zur Wiederherstellung einer medialen kortikalen Abstützung [15] (► **Abb. 5**).

Radius

Insbesondere in der Osteosynthese distaler Radiusfrakturen, welche die häufigsten Frakturen des Menschen darstellen, haben sich winkelstabile Implantate durchgesetzt. Sie ermöglichen eine Wiederherstellung der richtigen Inklination der Radiusgelenkfläche, insbesondere bei Frakturen mit Gelenkbeteiligung, dorsaler oder komplett metaphysärer Trümmerzone, und einen Längenerhalt des Radius und somit Vorbeugung eines sekundären Ulna-Plus-Syndroms. Es gibt einige Implantate, wie beispielsweise die Two-Column Volar Distal Radius Plate (Firma Synthes), die durch die Nutzung polyaxialer winkelstabiler Schrauben eine präzise Platzierung der distalen Schraubenreihen zur Stützung der Gelenkfläche und in den Processus styloideus radii erlauben.

Femur

Die dynamische Hüftschraube, die aus einer Weiterentwicklung der Klingenplatte entstanden ist und zur Versorgung von pertrochantären Femurfrakturen und lateralen Schenkelhalsfrakturen genutzt wird, kann als winkelstabiles Implantat eingestuft werden, wobei eine axiale Kompression der Fraktur möglich ist. Klassische winkelstabile Plattenosteosynthesen am Femur sind vorwiegend laterale Plattenosteosynthesesysteme für den distalen Femur. Die meisten dieser Systeme können minimalinvasiv eingebracht werden. Bei diesen distalen Femurfrakturen wird zunächst der Gelenkblock gestellt und – nach Einbringen der Platte – dieser an den Femurschaft fixiert. Die Winkelstabilität wird hier genutzt, um die häufig bei diesen Frakturen fehlende kortikale Abstützung im metaphysären Bereich zu überbrücken (► **Abb. 6**).



► **Abb. 5** a Humeruskopffraktur einer 48-jährigen Patientin nach Treppensturz, Typ 11C3.1 nach AO. b Die Fraktur konnte mit dem winkelstabilen Proximal Humerus Interlocking System (PHILOS, Fa. Synthes) versorgt werden. c 3 Monate nach operativer Versorgung zeigt sich eine vollständige radiologische Konsolidierung.



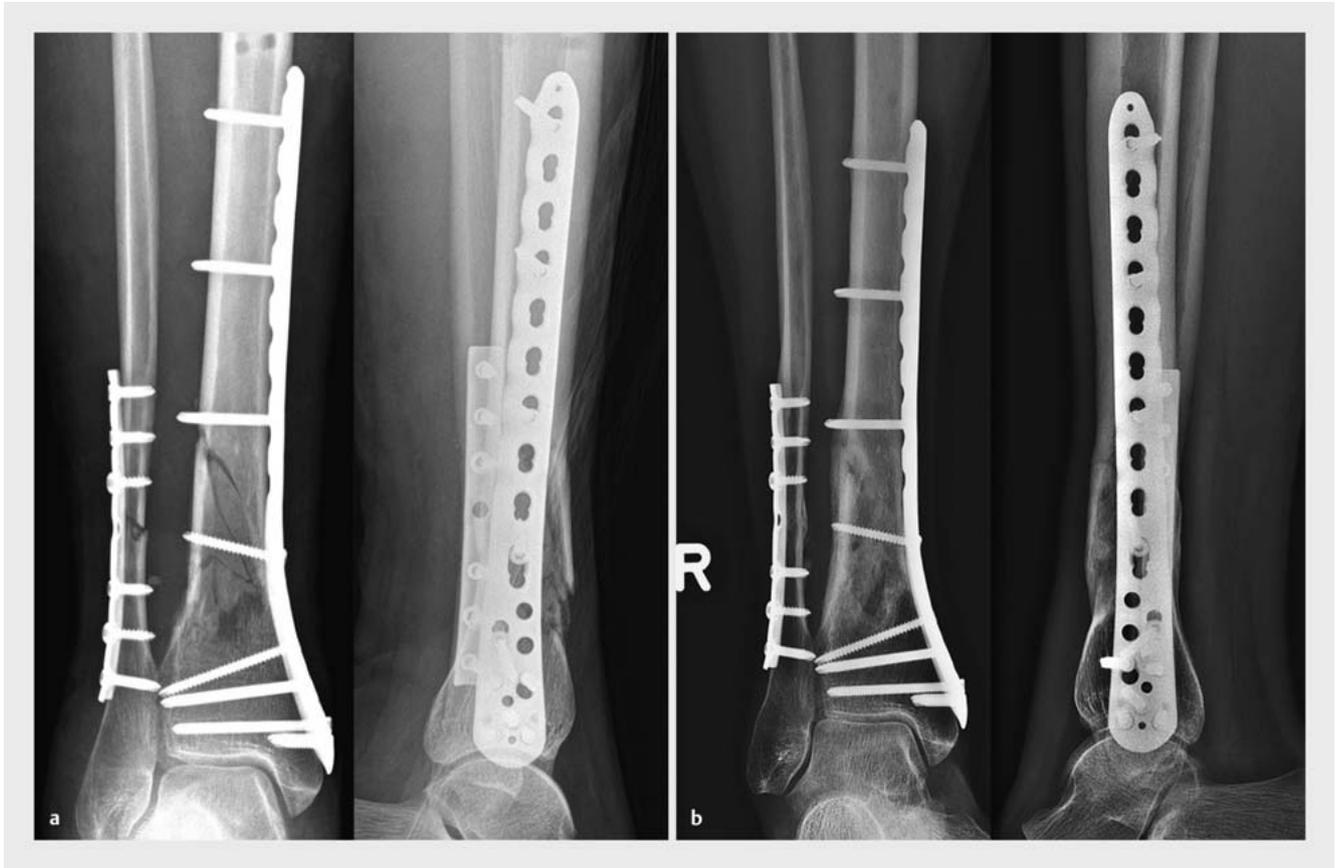
► **Abb. 6** a Femur eines 52-jährigen Patienten, der sich eine Femurfraktur Typ 33C3.2 f nach AO zugezogen hatte. Diese konnte mittels Zugschraubenosteosynthese zur Rekonstruktion der Gelenkfläche sowie einer VA-LCP-Kondylenplatte (Fa. Synthes) versorgt werden. b 1 Jahr nach operativer Versorgung befindet sich der knöcherne Kallus noch im Umbau.

Tibia

An der Tibia werden winkelstabile Platten sowohl proximal genutzt, um eine Abstützung der Gelenkfläche bei Tibiakopffraktur zu ermöglichen, als auch, um mehrfragmentäre Frakturen im Schaft und in der distalen Tibia zu überbrücken (siehe Patientenbeispiel ► **Abb. 7**).

Insbesondere Implantate für die distale Tibia müssen spezielle Anforderungen erfüllen, da es in diesem Bereich nur eine geringe Weichteildeckung gibt. Die LCP distale Tibia-

platte (Firma Synthes) ist im Schaftbereich als Low Contact Plate konzipiert; sie hat Kombinationslöcher, die mit winkelstabilen und nicht winkelstabilen Schrauben genutzt werden können, und ein Profil im Schaftbereich, das die Auflagefläche bei Knochenkontakt minimiert, während sie distal sehr dünn wird, um den Weichteilkontakt am Innenknöchel zu minimieren.



► **Abb. 7** a Patientin mit einer III°-offenen distalen Unterschenkelfraktur nach Überrolltrauma, die nach initialer Damage-Control-Versorgung und Fixateur-externe-Anlage, nach Konsolidierung der Weichteile mit einer winkelstabilen Plattenosteosynthese an der Tibia versorgt werden konnte. Die Fibula ist hier mit einem nicht winkelstabilen Implantat versorgt. b Nach ossärer Konsolidierung, 8 Monate postoperativ; hier findet noch ein Remodeling des Frakturkallus statt.

Fazit

Winkelstabile Platten sind als „Fixateur interne“ als Osteosynthesematerial aus der modernen Unfallchirurgie nicht mehr wegzudenken. Es gibt immer mehr anatomisch vorgeformte winkelstabile Implantate für unterschiedlichste Knochen. Da es nur wenige Einschränkungen für die Anwendung winkelstabiler Implantate gibt und diese Implantate stetig weiterentwickelt werden, wächst dadurch auch ihre Indikationsspanne.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Helena Illes für die Zurverfügungstellung der Grafiken.

Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Autorinnen/Autoren



Gabriele Rußow

Assistenzärztin, Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie, Charité – Universitätsmedizin Berlin



Michael Schütz

Prof. Dr. med., PhD, Director Jamieson Trauma Institute, Chair of Trauma/Queensland University of Technology; Department for Orthopaedics & Trauma, Royal Brisbane and Women's Hospital



Arne Berner

PD. Dr. med., PhD, Geschäftsführender Oberarzt, Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie, Charité – Universitätsmedizin Berlin

Korrespondenzadresse

PD. Dr. med. Arne Berner

Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie
Charité – Universitätsmedizin Berlin
Augustenburger Platz 1
13353 Berlin
arne.berner@charite.de

Literatur

- [1] Beger HG, Gansauge F. Master of surgery in Archiv für Klinische Chirurgie. Langenbecks Arch Surg 2010; 395 (Suppl. 1): 17–21. doi:10.1007/s00423-010-0620-7
- [2] Elliott RB. Fractures of the femoral condyles: experiences with a new design femoral condyle blade plate. South Med J 1959; 52: 80–95
- [3] Kubiak EN, Fulkerson E, Strauss E et al. The evolution of locked plates. J Bone Joint Surg Am 2006; 88 (Suppl. 4): 189–200
- [4] Ramotowski W, Granowski R. Zespol – an Original Method of Stable Osteosynthesis. Clin Orthop Relat Res 1991; 272: 67–75
- [5] Kolodziej P, Lee FS, Patel A et al. Biomechanical evaluation of the schuhli nut. Clin Orthop Relat Res 1998; (347): 79–85
- [6] Heyland M, Duda GN, Mardian S et al. [Steel or titanium for osteosynthesis: A mechanobiological perspective]. Unfallchirurg 2017; 120: 103–109. doi:10.1007/s00113-016-0289-7
- [7] Schoch B, Hast MW, Mehta S et al. Not All Polyaxial Locking Screw Technologies Are Created Equal: A Systematic Review of the Literature. JBJS Rev 2018; 6: e6. doi:10.2106/jbjs.Rvw.17.00049
- [8] Mehrzad R, Kim DC. Complication Rate Comparing Variable Angle Distal Locking Plate to Fixed Angle Plate Fixation of Distal Radius Fractures. Ann Plast Surg 2016; 77: 623–625. doi:10.1097/sap.0000000000000850
- [9] Rausch S, Klos K, Stephan H et al. Evaluation of a polyaxial angle-stable volar plate in a distal radius C-fracture model—a biomechanical study. Injury 2011; 42: 1248–1252. doi:10.1016/j.injury.2010.12.005
- [10] Tidwell JE, Roush EP, Ondeck CL et al. The biomechanical cost of variable angle locking screws. Injury 2016; 47: 1624–1630. doi:10.1016/j.injury.2016.06.001
- [11] Tank JC, Schneider PS, Davis E et al. Early Mechanical Failures of the Synthes Variable Angle Locking Distal Femur Plate. J Orthop Trauma 2016; 30: e7–e11. doi:10.1097/bot.0000000000000391
- [12] Cornell CN. Internal fracture fixation in patients with osteoporosis. J Am Acad Orthop Surg 2003; 11: 109–119
- [13] Grant KD, Busse EC, Park DK et al. Internal Fixation of Osteoporotic Bone. J Am Acad Orthop Surg 2018; 26: 166–174. doi:10.5435/jaaos-d-16-00142
- [14] Tejwani NC, Guerado E. Improving fixation of the osteoporotic fracture: the role of locked plating. J Orthop Trauma 2011; 25 (Suppl. 2): S56–S60. doi:10.1097/BOT.0b013e31821b8a52
- [15] Jabran A, Peach C, Ren L. Biomechanical analysis of plate systems for proximal humerus fractures: a systematic literature review. Biomed Eng Online 2018; 17: 47. doi:10.1186/s12938-018-0479-3

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0755-0171>
Online-publiziert 08.03.2019 | OP-JOURNAL 2019; 35: 20–26
© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
ISSN 0178-1715