Evolution der Osteosynthese

Die Einführung der Osteosynthese und der Wandel von der konservativen zur operativen Knochenbruchbehandlung war ein revolutionärer Fortschritt der Knochenbruchbehandlung. Künr [1] beschreibt diesen Wandel in seinem Buch „Vom Ende einer qualvollen Therapie im Streckverband“ ausführlich mit Bildern von Sälen in Krankenhäusern mit zahlreichen Patienten in einer Extension. Eine konservative Therapie einer dislozierten Unterschenkelfraktur z. B. bedeutete eine mehrwöchige Extensionsbehandlung, Bettruhe und Gipsbehandlung mit der Gefahr von Thrombosen, Embolien, Pneumonien und den Unannehmlichkeiten der Bettlägerigkeit (Abb. 1). Muskelatrophie und Einsteifung der Gelenke waren die Regel.

Meilensteine der Entwicklung waren die erste Plattenosteosynthese durch Hansmann [2] und die von Küntscher [3] eingeführte Marknagelung. Die Einführung der operativen Knochenbruchbehandlung war die Grundlage der heute möglichen raschen Wiedererlangung der vollen Bewegungsfähigkeit nach Knochenbrüchen, allerdings durchlief die Osteosynthese eine Entwicklung – die Evolution der Osteosynthese – die die heutigen guten Ergebnisse ermöglicht hat. Entscheidenden Anteil an der weltweiten Verbreitung der Osteosynthese hatte die 1958 gegründete Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO), die ein einzigartiges weltweites Kurssystem und Forum für den wissenschaftlichen Austausch aufgebaut hat. Im ersten AO-Manual der Osteosynthese fanden sich 4 Grundsätze:

1. anatomische Reposition,
2. stabile Fixierung,
3. Erhaltung der Blutversorgung,

4. frühe aktive und schmerzfreie Mobilisation.

Die Bedeutung der Blutversorgung der Fragmente war von Anfang an erkannt, das Ziel der anatomischen Reposition gilt bis heute im Gelenkbereich, und die frühe aktive und schmerzfreie Mobilisation ist nach wie vor essenziell. Weiterentwickelt hat sich dagegen die Sicht auf die Notwendigkeit der anatomischen Reposition im Schaftbereich und die für eine optimale Knochenbruchheilung erforderliche Stabilität.

In der Phase der Verbreitung der operativen Knochenbruchbehandlung in den weltweit durchgeführten Kursen der AO war die Plattenosteosynthese lange das dominante Verfahren. Erst sehr viel später zeigte sich in der Entwicklung, dass die zunächst propagierte anatomische Reposition im Schaftbereich insbesondere bei Mehrfragmentfrakturen häufig nicht ohne wesentliche Beeinträchtigung der Vaskularität und Vitalität der Fragmente erzielt werden kann.

Histologische Bilder einer „primären Knochenbruchheilung“ aus Tiermodellen, in denen Haver-Kanäle direkt durch anatomisch reponierte Frakturspalten wuchsen, gingen um die Welt. Voraussetzung für eine kallusfreie, primäre Knochenbruchbehandlung war absolute Stabilität. Dementsprechend wurden z. B. Kompressionsosteosynthesen mit Spannaparaten und ausgefeilten Plattenlöchern propagiert, die eine Kompression des Frakturspaltes ermöglichen. Die natürliche Knochenheilung erfolgt dagegen über Kallus bei relativer Stabilität.

» Die natürliche Knochenheilung erfolgt über Kallus bei relativer Stabilität

Begrenzte Bewegungen im Frakturspalt sind Stimulus für die vom Periost ausgehende Kallusheilung. Bei zu viel Beweglichkeit im Frakturspalt oder auch Instabilität kommt es zur Ausbildung von Pseudarthrosen.

Abb. 1 ▲ Konservative Behandlung einer Tibiafraktur in Extension, rechts Ausheilung

Abb. 2 ◀ Nach Plattenosteosynthesen bildet sich Kallus nur auf der der Platte gegenüberliegenden Seite. Rechts typische zirkuläre Kallusbildung nach Nagelung

Abb. 3 ▲ Metaphysär: Wettstreit zwischen Platte und Nagel

Bei konservativer Knochenbruchbehandlung von Schaftfrakturen, egal ob funktionell am Oberarm oder im Gips, im Bereich der unteren Extremität erfolgt die Knochenheilung über Kallus. Bei Schaftfrakturen, insbesondere Mehrfragmentfrakturen, kam es in Analogie zur Marknagelung, bei der die Knochenheilung ebenfalls unter relativer Stabilität über Kallus erfolgt, auch zu einem Wandel der Plattenosteosynthese. Trümmerzonen wurden überbrückt, auf Zugschrauben wurde verzichtet, und Kno-

chenkeile wurden unter Schonung der Gefäßversorgung der Fragmente nicht mehr eingepasst. Auch bei Plattenosteosynthesen von Mehrfragmentfrakturen wurde die korrekte Achsen- und Rotationsstellung des proximalen zum distalen Hauptfragment mit relativer Stabilität das Ziel, um so eine optimale Knochenheilung über Kallus zu erreichen.

Bis heute gibt es keine Studien, die evidenzbasiert wirklich überzeugend die Überlegenheit der gewebeschonenden und die Vaskularität erhaltenden Ope-

rationstechniken beweisen. Die Vielfalt der Frakturen lässt es einfach nicht zu, dass in einer Studie an Tagen mit geradem Datum Osteosynthesen mit absoluter Stabilität und an ungeraden Tagen Osteosynthesen mit relativer Stabilität durchgeführt werden, aber dennoch sind die Vorteile offensichtlich.

Während in den 1970er- und 1980er-Jahren alle großen Kliniken septische Stationen hatten, auf denen immer zahlreiche Patienten mit infizierten Plattenosteosynthesen behandelt wurden, hat sich die Zahl chronischer Infekte heute drastisch vermindert, unzweifelhaft durch schonendere Operationstechniken und durch die Frühintervention in der Frühphase nach einer Osteosynthese schon beim Verdacht auf eine Infektion. Bei Mehrfragment- und Trümmerfrakturen sind die überbrückenden Osteosynthesetechniken heute Konsens.

» Bei Mehrfragment- und Trümmerfrakturen sind die überbrückenden Osteosynthesetechniken heute Konsens

Aufgrund der Vorteile war der Schritt zu minimalinvasiven Implantationstechniken von Platten über 2 Inzisionen nicht mehr weit.

K. Wenda

Evolution der Osteosynthese

Zusammenfassung

Die operative Knochenbruchbehandlung fand mit 4 Grundsätzen weltweite Verbreitung: anatomische Reposition, stabile Fixierung, Erhaltung der Blutversorgung und frühe aktive und schmerzfreie Mobilisation. Die zentrale Bedeutung der Erhaltung der Blutversorgung wurde von Anfang an erkannt und ist genauso wie die frühe aktive und schmerzfreie Mobilisation uneingeschränkt gültig. Gleichmaßen unverändert gültig ist das Streben nach möglichst anatomischer Reposition im Gelenkbereich, im Schaftbereich hat sich dagegen gezeigt, dass die anatomische Reposition insbesondere von Mehrfragmentfrakturen nicht ohne erhebliche Beeinträchtigung der Blutversorgung möglich ist. Bei Mehrfragmentfrakturen ist die

korrekte Stellung des proximalen zum distalen Hauptfragment entscheidend, Knochenkeile und Trümmerzonen werden überbrückt. Das Ziel absoluter Stabilität, wie sie früher generell angestrebt wurde, gilt heute nur noch im Gelenkbereich. Schaftfrakturen werden heute mit Osteosynthesen mit relativer Stabilität versorgt, da diese über Kallus heilen. Die Fehlschläge bei Schaftfrakturen konnten durch den Wandel vom Ziel der absoluten zur relativen Stabilität und die Schonung der Blutversorgung der Fragmente deutlich vermindert werden.

Schlüsselwörter

Stabilität · Blutversorgung · Fragmente · Knochenbruch · Reposition

Evolution of osteosynthesis

Abstract

Operative fracture treatment has become established worldwide with four principles: anatomical reduction, stable internal fixation, preservation of blood supply and early active pain-free mobilization. The paramount importance of preservation of the blood supply to the bone fragments was recognized from the very beginning and is still just as valid as early and pain-free mobilization. Also still valid is striving for the best possible anatomical reduction in joints but in diaphyseal fractures it was recognized that anatomical reduction, especially in multifragmentary fractures, is not possible without considerable impairment of the blood supply. In multifragmentary fractures the correct positioning of the

main proximal fragment to the main distal fragment is decisive, where bone wedges and comminuted fracture areas should be bridged and not fixed. The aim of absolute stability, which was previously strived for, is nowadays only valid for joints and diaphyseal fractures are currently treated by osteosynthesis with relative stability, which results in healing via calluses. The failure rates for diaphyseal fractures could be considerably reduced by changing the target from absolute to relative stability and preservation of the blood supply to the fragments.

Keywords

Stability · Blood supply · Fragments · Bone fractures · Reduction

Hierbei kommt es nicht auf die kosmetischen Ergebnisse durch kürzere Inzisionen an, entscheidend ist der Schutz der Vaskularität durch fehlende Möglichkeiten, die „Fraktur ein bisschen besser zu stellen“, da die Blutversorgung von Knochenkeilen und Fragmenten häufig durch Manipulation doch entscheidend gestört wird. Nachteil der minimalinvasiven Techniken ist die generelle Notwendigkeit eines Bildwändlers, dessen Gebrauch aber letztendlich auch bei offenen Techniken notwendig ist, wenn nicht alle Fragmente freigelegt werden.

Bei einfachen Frakturen ergeben sich keine Vorteile durch minimalinvasive Plattentechniken, da die Durchblutung der Frakturflächen über die beiden Hauptfragmente gewährleistet ist. Hier bieten offene Techniken bessere Repositionsmöglichkeiten, auf die es bei einfachen Frakturen auch mehr ankommt, da die mit einer Platte möglichen begrenzten Restbewegungen nur auf einen Frakturspalt einwirken und sich nicht auf mehrere Frakturspalten verteilen.

Trotz aller Verbesserung der Technik der Plattenosteosynthesen lässt sich auch mit noch so ausgefeilten Techniken immer nur eine Kallusbildung auf der der Platte gegenüberliegenden Seite erzielen. Unter der Platte sind die Relativbewegungen des Knochens zu gering, um eine Kallusbildung zu induzieren (Abb. 2).

Deshalb ist heute im Schaftbereich des Ober- und Unterschenkels generell die Verriegelungsnagelung das Verfahren der Wahl.

» Im Schaftbereich des Ober- und Unterschenkels ist die Verriegelungsnagelung das Verfahren der Wahl

Mit dem intramedullären Kraftträger lassen sich ohne Zweifel die besten Bedingungen für die für die Nagelung typische zirkuläre Kallusbildung erzielen (Abb. 2 rechts).

Metaphysär besteht dagegen ein heftiger Wettstreit zwischen Marknagel- und Plattentechniken (Abb. 3). Durch die neueren Verriegelungsnägel mit Verriegelungsmöglichkeiten dicht am Nagelen-

de können auch Frakturen mit Ausläufern bis an oder in das Gelenk mit Nägeln versorgt werden. Bei Nagelosteosynthesen im metaphysären Bereich kommt es öfter zu Achsenfehlstellungen, die Knochenheilung und Wiedererlangung der Belastungsfähigkeit ist dagegen in der Regel schneller als bei Plattenosteosynthesen.

Wirklich Evidenz hinsichtlich der Überlegenheit einer der beiden Osteosyntheseformen gibt es nicht. Nagel oder Platte im metaphysären Bereich ist ein beliebtes Thema in Pro- und Kontra-

Runden. Im eigenen Krankengut wird am proximalen Femur der Nagel bevorzugt, am distalen Femur der Nagel, wenn die Verriegelungsschrauben sich sicher verankern lassen.

Bei Gelenkbeteiligung und bei Osteoporose bevorzugen wir am distalen Femur ein winkelstabiles Plattensystem.

Bei proximalen Tibiafrakturen tendieren wir zur Platte, weil Fehlstellungen nach Nagelosteosynthesen doch recht häufig sind, an der distalen Tibia verwenden wir auch bei Grenzindikationen den Nagel, weil nach unserer Erfahrung

Abb. 4 ◀ Anatomische Reposition des Gelenkes, Überbrückung im Schaftbereich, keine Spongiosoplastik, Ausheilung

Abb. 5 ◀ Links oben prä-operatives Röntgenbild im Stehen und intraoperatives Bild nach Lagerung

Abb. 6 ◀ Perkutane Claviculaplatte

die Knochenheilung schneller ist und die Belastungsfähigkeit früher erreicht wird.

Primäre Spongiosaplastiken bei Knochendefekten wurden in der Anfangszeit bei Plattenosteosynthesen insbesondere im Bereich des distalen Femurs propagiert. Bei Marknagelosteosynthesen, die fast immer geschlossen und damit die Vaskularität erhaltend durchgeführt werden, war die primäre Spongiosaplastik niemals ein Thema. Durch die Weiterentwicklung der Plattenosteosynthese hin zu schonenden, die Vaskularität erhaltenden Plattenosteosynthesen wurde die primäre Spongiosaplastik völlig verlassen.

Mit den modernen biologischeren Verfahren kommt es fast immer zur spontanen Knochenheilung (▣ **Abb. 4**),

Abb. 7 ◀ Bildwand-
ler-Prints und Aushei-
lungsbild nach perkutaner
Claviculaplatte

Abb. 8 ▲ Gute kosmetische Ergebnisse nach perkutaner Claviculaplatte

Spongiosaplastiken sind nur in Ausnahmefällen bei Heilungsstörungen erforderlich.

Die lange vielfach diskutierte Kontroverse um das Aufbohren bei der Marknagelung ist heute geklärt. Küntschner hatte die geniale Idee der Nagelung zunächst ohne Verriegelung verwirklicht und mit dem Aufbohren begonnen, um einen Knochen/Nagel-Kontakt auf einer längeren Strecke und damit auch Rotationsstabilität zu gewinnen. Zu Beginn der Kontroverse um das Aufbohren in den 1980er- und 1990er-Jahren standen sich Verfechter der ungebohrten Nagelung und Anhänger der stabilen Nagelung gegenüber. Für den Oberschenkel gab es

Bohrer bis 18 mm Durchmesser! Auch die Marknagelung hat sich hin zu schonenderen Techniken entwickelt, die die Vitalität der Kortikalis weniger beeinträchtigen. Durch die Einführung der Verriegelung wurden geringere Nageldurchmesser möglich, ohne Rotationsfehler zu riskieren.

Der Konsens ist heute begrenztes Aufbohren, die Bohrer sind besser geworden, die früheren Verfechter der ungebohrten Nagelung bohren heute bei enger Markhöhle auch begrenzt auf, die früheren Verfechter des Aufbohrens bohren viel weniger als früher auf, und man trifft sich heute meist bei 11 mm.

Im Bereich der Plattenosteosynthese wird auch vermehrt über minimalinvasive Techniken an der Clavicula berichtet. In einer eigenen Serie von 100 Claviculaosteosynthesen musste kein einziges Mal auf eine offene Technik gewechselt werden. Entscheidende Voraussetzung ist die Rückenlage vorzugsweise auf einem Korbentisch, weil in Beach-Chair-Lagerung der Zug des Armes durch die Schwerkraft zur Dislokation beiträgt und die Reposition erschwert, während in Rückenlage Claviculafrakturen oft spontan reponiert sind und – wenn nicht – die Reposition wesentlich leichter ist. Einfache Frakturen finden sich meist bei Patienten im jugendlichen Alter. Diese werden im eigenen Krankengut mit elastischen Nägeln versorgt.

Im Erwachsenenalter werden undislozierte Frakturen weiter konservativ behandelt, die häufigen Frakturen mit ausgesprengtem Bieungskeil und Verkürzung der Clavicula werden mit minimalinvasiv eingebrachten Platten versorgt. Damit ist die überbrückende Technik auch im Bereich der Clavicula möglich (▣ Abb. 5, 6 und 7). Die in offener Technik häufigen Narbenkeloide nach offener operativer Versorgung der Clavicula gibt es bei der minimalinvasiven Technik nicht. Offensichtlich verhindert die Hautbrücke zwischen den Inzisionen den Zug auf die Narbe und damit die Keloidbildung, besonders die Mädels sind dankbar dafür (▣ Abb. 8).

Abb. 9 ▲ a Osteosynthese mit schwerer Vitalitätsstörung des Knochens. b Refraktur nach Metallentfernung, nach 12 Wochen konservativer Behandlung „Pseudarthrose im CT“. c Gut tastbarer Kallus und d, e gute Kallusbildung in den Röntgenaufnahmen

Abb. 10 ▲ Computertomographie und konventionelle Röntgenaufnahmen 12 Wochen nach Fraktur, keine Revisionsoperation, Fixateur externe konnte problemlos entfernt werden

Nicht nur die Osteosynthese entwickelt sich weiter, sondern auch die Bildgebung. Die Computertomographie (CT) hat die Diagnostik in der Unfallchirurgie unzweifelhaft entscheidend verbessert, allerdings darf sie nicht allein zur Entscheidungsfindung herangezogen werden. Nicht selten werden Patienten mit Beschwerden beim Belastungsaufbau nach Osteosynthesen mit einer CT zur Revisionsoperation oder Spongiosaplastik eingewiesen, weil es in einzelnen Schichten „schwarz zwischen den Fragmenten“ ist. Kallus wird in

konventionellen Röntgenbildern früher sichtbar als in der CT.

Anamnese und klinische Untersuchung geben oft wichtige Hinweise. Wenn die Beschwerden allmählich besser werden oder insbesondere an der Tibia eine kräftige Kallusmanschette tastbar ist, die zusätzlich nach Belastung keine Reizerscheinungen wie Schwellung oder Überwärmung zeigt, ist keine Revisionsoperation erforderlich, auch wenn in der CT in einzelnen Schichten keinerlei Überbrückung zu sehen ist. Die **Abb. 9** zeigt einen solchen Fall. Nach schwerer Vitalitätsstörung des

Knochens infolge Freilegung des Knochens für Zugschrauben kam es nach der Plattenentfernung zur Refraktur, die zunächst konservativ behandelt wurde. Die CT ergab eine Pseudarthrose. Bei guter Kallusbildung in den konventionellen Röntgenbildern und auch klinisch gut tastbarem reizfreiem Kallus konnte konservativ weiterbehandelt werden (**Abb. 9**).

Die **Abb. 10** zeigt eine CT nach 12 Wochen Behandlung einer Oberschenkelfraktur mit einem Fixateur externe. Aufgrund der CT war auswärts eine Plattenosteosynthese vorgesehen. Die konventionellen Röntgenaufnahmen zeigten gute Kallusbildung, der Fixateur externe konnte problemlos entfernt werden. Indikationen zu Revisionsoperationen sollten niemals alleine aufgrund einer CT gestellt werden.

In der Kindertraumatologie hat sich die Osteosynthese rasant weiterentwickelt. Nach Einführung der elastischen Nagelung mit ESINs („elastic stabilising intramedullary nails“) wird die Indikation zur Operation bei kindlichen Oberschenkelfrakturen bei immer jüngeren Kindern und auch Kleinkindern gestellt. In vielen Kliniken werden heute Kinder ab 2 Jahren operiert und Extensionsbehandlungen in Overhead-Extensionen nur noch unter 2 Jahren durchgeführt,

Abb. 11 ◀ Femurfraktur beidseits mit ESINs („elastic stabilising intramedullary nails“) versorgt, rasche Mobilisation im Kinderwagen und kurzer stationärer Aufenthalt

wodurch die früher mehrwöchige Krankenhausbehandlung auf 2 bis 3 Tage verkürzt werden konnte (▣ Abb. 11).

Durch die „Evolution der Osteosynthese“ konnten die klinischen Ergebnisse entscheidend verbessert und die Rehabilitation nach Knochenbrüchen konnte drastisch verkürzt werden. Wünschenswert für die Zukunft wären eine weitere Senkung der Fehlschläge mit Versagen der Osteosynthese und eine Senkung der Pseudarthroserate.

Die Knochenheilung stellt sich bei genauer Betrachtung als sehr komplexes Geschehen dar, sodass ein revolutionärer Fortschritt durch Gabe eines einzelnen Wunderfaktors unwahrscheinlich erscheint. Essenziell sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt die tatsächliche und nicht nur verbale Minimierung des Operationstraumas, die Erhaltung der Vitalität des Knochens durch gewebeschonendes Operieren und die strikte Berücksichtigung der Vaskularität der Fragmente.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. K. Wenda
Klinik für Unfall-, Hand- und
Orthopädische Chirurgie,
Helios Dr. Horst Schmidt
Kliniken
Ludwig Erhard Str. 100,
65199 Wiesbaden,
Deutschland
Klaus.wenda@t-online.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. K. Wenda gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine vom Autor durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

The supplement containing this article is not sponsored by industry.

Literatur

1. Kuner E (2015) Vom Ende einer qualvollen Therapie im Streckverband. Kaden, Heidelberg
2. Hansmann C (1886) Eine neue Methode der Fixierung bei complicierten Fracturen. Verh Dtsch Ges Chir 15:134–137
3. Küntscher G (1940) Die Marknagelung von Knochenbrüchen – Klinischer Teil. Klin Wochenschr 19:833–835