

Henry B. Delfs

Der kleine Delfs

*- Die Geschichte der Osteosynthese -
(Osteosyntheseverfahren und Implantatentwicklung)*

Inhaltsverzeichnis

OSTEOSYNTHESE UND IMPLANTATENTWICKLUNG	1
1. Behandlung von Frakturen langer Röhrenknochen	1
1.1. Die Entwicklung der klassischen Verfahren	1
1.2. Die extramedulläre Osteosynthese mittels Platte	3
1.3. Die intramedulläre Osteosynthese mittels Nagel	6
1.4. Die Versorgung der Humerusfraktur	11
1.5. Die Versorgung der Radiusfraktur	12
1.6. Die Versorgung der Schenkelhalsfraktur	14
1.7. Versorgung von Femurfrakturen	17
1.8. Versorgung von Tibiafrakturen	21
1.9. Versorgung von Klavikulafrakturen	22
1.10. Die Metallose	25
1.11. Biodegradierbare Materialien	27
2. Literaturverzeichnis	29

OSTEOSYNTHESE UND IMPLANTATENTWICKLUNG

1. Behandlung von Frakturen langer Röhrenknochen

1.1. Die Entwicklung der klassischen Verfahren

Die Behandlung von Knochenbrüchen war lange Zeit, bis zum Ende des 19. Jahrhunderts, konservativen Methoden vorbehalten. Selbst in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts war sie die Methode der Wahl.

Das Hauptproblem bei operativer Frakturstabilisierung war in der hohen Infektionsrate zu sehen. Mit Einführung von Asepsis und Antisepsis änderte sich dies und es konnten erste Erfolge mit intramedullären Verfahren erzielt werden. Zu den Pionieren in diesem Bereich zählten Volkmann, Bircher und Gluck, die Knochenspäne und Elfenbeinstifte als Material verwendeten. 1875 unternahm Heine Versuche, Elfenbeinschienen zur intramedullären Fixation zu verwenden. Lossen beschreibt in „Allgemeine Chirurgie“ von 1897 die Einbringung eines Elfenbeinzapfens in die Markhöhle.

Ende des 19. Jahrhunderts forderte Gluck die Verwendung von Knochentransplantaten und Elfenbeinzylindern zur Knochenregenerierung ⁽²³²⁾.

Neben intramedullären Verfahren wurden extramedulläre Verfahren entwickelt. Langenbeck entwickelte 1851 einen Knochenschraubenapparat zur extramedullären Fixation, einen Vorläufer des Fixateur externe, der von Albine Lambotte modifiziert und verwendet wurde ⁽¹¹³⁾. Auf Lambotte geht der Begriff der Osteosynthese zurück, den er um 1910 erstmals verwendete. Vidal et al. ⁽²²³⁾ haben mechanische Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit verschiedener Montageformen durchgeführt und damit den Grundstein zur Verbreitung des Fixateur externe gelegt. Verwendungszweck des Fixateur externe ist die Stabilisierung eines Skelettanteils mit Aussparung des gefährdeten Bereichs, insbesondere bei ausgedehntem Weichteilschaden (zweit- und drittgradig offene Frakturen), infizierten Frakturen und Pseudarthrosen, aber auch Korrekturosteotomien und Arthrodesen. Nach Konsolidierung der Weichteilverhältnisse und Ausschluß von Pinkanal-

infektionen konnte sekundär auf die Marknagelung gewechselt werden ⁽²³⁾. Eine primäre Versorgung von offenen und geschlossenen Frakturen mit größerem Weichteilschaden galt jedoch als kontraindiziert ⁽²⁶⁾. Während die Vorteile des Fixateurs in der einfachen und schnellen Technik, der guten Weichteildeckung und der weitgehend schonenden Behandlung des Knochens liegen, sind die Nachteile in der je nach Konstruktion nicht vollen Belastungsmöglichkeit, den Pininfekten und den häufigen Fehlstellungen zu sehen ^(163,204).

Da nicht versorgte, instabile Frakturen, insbesondere wenn sie körpernah gelegen sind, mit einem hohen Blutverlust vergesellschaftet sind, Mediatoren für die Schockentstehung freisetzen und eine erhöhte Komplikations- und Infektionsrate aufweisen, ergibt sich die Forderung, Frakturen zu stabilisieren, um einem traumatisch-hämorrhagischen Schockgeschehen entgegenzuwirken ^(14,156,166,205).

Erfahrungen mit der osteosynthetischen Versorgung von Frakturen konnten im größeren Umfang im 1. Weltkrieg gesammelt werden. Veröffentlichungen hierzu gibt es u.a. von Vidal und Böhler, welche Empfehlungen zur Ausstattung von Lazaretten erarbeiteten.

Lorenz Böhler erforschte die Letalität bei offenen Oberschenkelfrakturen in der Zeit vor und während des 1. Weltkriegs. Seiner Statistik nach lag sie vor dem 1. Weltkrieg bei 40%, bei konservativer Behandlung bei 23%, bei traumatologischer Behandlung bei 10%.

Eine weitere Erfindung im militärischen Zusammenhang war der durch den flämischen Militärarzt Antonius Mathysen eingesetzte Gipsverband als äußere Schienung.

In den 1950er Jahren wurde die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen, AO, von Maurice Müller, Martin Allgöwer, Hans Willenegger, Robert Schneider und weiteren Chirurgen, Orthopäden, Ingenieuren und Metallurgen in der

Schweiz gegründet. Ihr Bestreben war die Standardisierung von Verfahren zur Frakturversorgung.

1. Anatomische Rekonstruktion der Frakturfragmente, insbesondere bei Gelenkbrüchen.
2. Stabile innere Fixation durch interfragmentäre Kompression, um den lokalen biomechanischen Anforderungen gerecht zu werden.
3. Erhaltung der Blutversorgung von Knochen und Weichteilen durch atraumatische Operationstechnik.
4. Frühe aktive Mobilisation der verletzten Extremität sowie des Patienten zur Vermeidung der sog. Frakturkrankheit.

Die aktuellen Entwicklungen in der Unfallchirurgie faßt Hansis wie folgt zusammen ⁽⁶³⁾:

„Die Unfallchirurgie hat in den vergangenen Jahren wissenschaftlich und klinisch einen deutlichen Wandel erfahren. Von einer zunächst auf die Biomechanik fokussierten Denk- und Handlungsweise hat sie sich zu einer Lehre der Biologie des verletzten Organismus entwickelt. Die Vorstellungen darüber, wie man am besten und erfolgversprechendsten Frakturen, Luxationen und Bandverletzungen behandeln kann, sind inzwischen so ausgereift, daß zunehmend die Fragen im Vordergrund stehen, in welche Interaktionen untereinander sowie mit gestörten beziehungsweise normalen Funktionsabläufen des Körpers diese Verletzungen treten.“

1.2. Die extramedulläre Osteosynthese mittels Platte

Bereits vor der Wende zum 20. Jahrhundert versuchte man, Frakturen langer Röhrenknochen zu stabilisieren, indem man sie spickte oder Metallplatten anschraubte. Hansmann entwickelte als Osteosynthesemethode die Platte ⁽⁶⁴⁾, indem er 1886 aus Aluminium und Bronze hergestellte Schienen verwendete, welche auf den Knochen aufgeschraubt wurden und so den Frakturbereich

überbrückten. Sie wurde zu der Zeit noch mit Stiftschrauben befestigt, welche aus der Haut herausragten. Jahre später entwickelten die Gebrüder Lambotte eine Plattenosteosynthese, deren Schrauben unter die Haut versenkt werden konnten.

Die Form der Platten - es gibt gerade, spezielle und Winkelplatten - wurde variiert, um eine Erweiterung auf periartikuläre Frakturen zu erzielen. Die Ende der 1950er Jahre verfügbaren schmalen und breiten Rundlochplatten wurden ab Anfang der 1960er Jahre um Halb-, Drittel- und Viertelrohrplatten ergänzt, welche mit ovalen Löchern versehen wurden. 1965 wurde von Allgöwer, Perren, Russenberger et al. die Dynamische Kompressions-Platte (DCP) mit halbzylindrischen Spann-Gleitlöchern entwickelt. Indem die Schrauben exzentrisch eingesetzt werden, kann die Platte gespannt werden, was zu einer Verbesserung der Frakturstabilisierung führt.

Eine Variante, die ihren Einsatz an der unteren Extremität findet, ist die Zuggurtungsplatte. Sie wandelt Zugspannung in Druckspannung um. Eine andere Variante stellt die Neutralisationsplatte dar, die über Zugschrauben für Stabilität sorgt und Torsionen entgegenwirkt. Die Platte muß der Biegung des Knochens angepaßt werden. Wird sie überbogen, wird ein stärkerer interfragmentärer Druck ausgeübt mit besserer Neutralisation der Scherkräfte.

Die in den 1950er Jahren gegründete AO sah die Verplattung als ideales Osteosyntheseverfahren an. Mit hierfür ausschlaggebend war eine Publikation von R. Danis von 1947 mit dem Titel „Theorie und Praxis der internen Fixation“, in welcher er die Vorzüge der Plattenosteosynthese beschrieb. Hierbei bezeichnete er die unter axialer Kompression und rigider Fixation ohne Kallusbildung erreichte Knochenbruchheilung als primär, die unter Kallusbildung z.B. bei konservativer Behandlung oder Marknagelung erreichte Heilung als sekundär. Kallusbildung galt als Ausdruck der Instabilität. Die Indikationen der Plattenosteosynthese liegen vor allem bei gelenknahen und Trümmer-Frakturen ^(62,77). Für bestimmte Anwendungsgebiete wurden angepaßte Platten konstruiert. Die anatomisch vorgeformte mediale oder laterale Tibiakopfabstützplatte ist ein Implantat zur Versorgung proximaler

Tibiafrakturen. Die Fixierung erfolgt bikortikal mit Spongiosa- oder Kortikalisschrauben.

In der zweiten Hälfte der 1980er Jahre änderte sich die Philosophie, nun stand nicht mehr die akribisch genaue Rekonstruktion und Stabilität im Vordergrund, sondern die Schonung durch geringe Auflagefläche und weichteilschonende Operationsmethode. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde die Limited Contact Dynamic Compression Plate (LC-DCP) entwickelt, bei welcher die Knochenauflage um 50% gegenüber der herkömmlichen DCP reduziert ist ^(25,51,62). Durch eine geringere Schädigung der Gefäßnetze des Periostes wird eine bessere Erhaltung der intrakortikalen Perfusion erzielt. Dieses unter dem Begriff der biologischen Osteosynthese bekannt gewordene weichteilschonende Operieren wurde z.B. durch die Weiterentwicklung indirekter Repositions- und Operationstechniken verwirklicht ⁽⁵⁰⁾.

Die biologische Osteosynthese ist eine überbrückende Osteosynthese langer Röhrenknochen mit einem gegen Ende der 1980er Jahre einsetzenden Trend weg von der rigiden Verplattung hin zur intramedullären Stabilisierung und hier wiederum weg von der aufgebohrten hin zur unaufgebohrten Marknagelung ⁽⁶³⁾.

Die aktuelle Entwicklung geht zu winkelstabilen Plattensystemen. Eine winkelstabile Osteosynthese stellt ein System dar, bei welchem die im Knochen verankerten Schrauben mit dem die Fraktur überbrückenden Träger derartig verbunden sind, daß sie sich diesem gegenüber nicht in ihrem Befestigungswinkel verschieben können. Hierzu zählen der interne Plattenfixateur PC-Fix („point contact fixateur“)^(114,207), das LISS („less invasive stabilization system“) und die LCP („locking compression plate“)⁽⁴⁵⁾. Der PC-Fix folgt wie die LC-DCP dem „limited contact“-Prinzip mit geringer Auflage der Platte auf dem Knochen und dadurch geringerer Beeinträchtigung der Blutversorgung des Knochens. Das LISS kann als konsequente Weiterentwicklung angesehen werden, wobei eine winkelstabile Verankerung durch ein Gewinde in den Schraubenlöchern und Schraubenköpfen erzielt wird und ein Kontakt der Platte zum darunter liegenden Knochen nicht mehr

notwendig ist ⁽⁹⁹⁾. Die LCP weist eine neuartige Lochform auf, welche sowohl für den konventionellen Schraubentyp zur dynamischen Kompression als auch für eine winkelstabile Verschraubung verwendbar ist; sie läßt sich sowohl als konventionelle Platte als auch als Fixateur interne einsetzen ⁽¹⁸⁸⁾. Die LCP hat sich zur Versorgung von osteoporotischen Frakturen sowohl des distalen Radius als auch des proximalen Humerus als geeignet erwiesen ^(102,120,125,165,189). Ein weiteres neueres Verfahren ist die MCP („minimum contact plate“)⁽²⁴²⁾. Eine Kontraindikation zur Verplattung besteht bei Weichteilinfektion und Osteomyelitis ⁽¹⁸⁸⁾.

1.3. Die intramedulläre Osteosynthese mittels Nagel

In den 30er Jahren wurde Gerhard Küntscher durch seinen Chef Anschütz damit beauftragt, sich mit Knochenbrüchen zu befassen. Ein Forschungsbereich war die innere Schienung langer Röhrenknochen. Da sich Elfenbein u.a. aufgrund mangelnder Elastizität als ungeeignet herausstellte, experimentierte er mit Nägeln aus rostfreiem Stahl ⁽¹⁹⁷⁾. Fortschritte in der Osteosynthese erbrachte die durch Gerhard Küntscher 1939 entwickelte Marknagelung, welche er am 18.03.1940 auf der 64. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie in Berlin vorstellte unter dem Titel „Die Marknagelung von Knochenbrüchen“.

Mit der Einführung des Marknagels, welcher nicht über die Rigidität der Platte verfügte und somit zur so genannten sekundären Frakturheilung führte, zeigte sich, daß auch unter der Bildung eines Reizkallus ein gutes Ergebnis zu erreichen ist ⁽⁴⁾. Auf die Resorption der Knochenbruchflächen im Rahmen der sekundären Knochenbruchheilung mit Weitung des Frakturspalts folgte eine Schließung durch gegenseitige Gleitbewegung der Fragmente.

In seinem 1962 erschienenen Buch „Praxis der Marknagelung“ sieht Küntscher die stabile Osteosynthese als den Grundgedanken der Marknagelung. Hierbei sollen die Bruchstücke mittels einer inneren Schiene so vereint werden ⁽⁶⁵⁾, daß sämtliche auf die Fraktur einwirkenden Druck-, Zug-, Dreh- und Scherkräfte eliminiert werden und eine äußere Schienung überflüssig wird ⁽²¹²⁾.

Durch die elastische Verklebung des Marknagels wurde auch dann eine Knochenheilung gewährleistet, wenn es zu Knochenresorption entlang des Nagels kam ⁽⁷⁰⁾.

Wird bei einer Frakturversorgung mit einem Marknagel Kompression ausgeübt, so besteht ihre Funktion auch in einer Vermeidung des Frakturschmerzes in der Frühphase der Knochenbruchheilung ⁽¹⁴⁹⁾.

In Folge wurde die Marknagelung von Küntschers Schülern in einem ausgeweiteten Indikationsbereich eingesetzt, jedoch aufgrund teilweise unzureichender Technik und zu freizügiger Indikationsstellung auch mit Mißerfolgen, welche u.a. durch Fehlstellungen und Infektionen bedingt waren.

Küntscher führte 1950 die Aufbohrung des Markraums ein, wodurch stärkere Nägel eingebracht werden konnten. Da die Biegefestigkeit der Nägel mit der 3. bis 4. Potenz des Querschnitts steigt, läßt sich eine höhere Stabilität erzielen.

Maatz, ein Schüler Küntschers, stellte die Spreiznagelung vor, bei der zwei Nägel durch einen Keil auseinandergespreizt wurden. Anwendungsgebiet waren gelenknahe Frakturen von Ober- und Unterschenkel.

Im gleichen Jahr setzte Herzog anatomisch geformte elastische Nägel bei distalen Unterschenkelfrakturen ein und erzielte hierdurch gute Erfolge.

Küntscher wies auf dem Deutschen Chirurgenkongreß 1963 darauf hin, daß eine primäre Knochenbruchheilung nur mit einem Materialaufwand zu erreichen sei, der zugleich zu einer entsprechenden Schädigung von Weichteil und Periost führe, woraus wiederum eine erhöhte Infektionsgefahr entstehe.

1968 stellte er auf dem Jahreskongreß der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie in München einen Detentionsnagel als Vorgänger des Verriegelungsnagels vor ^(110,221), der bei Trümmerbrüchen angewendet und durch zwei senkrecht zum Nagel eingebrachte Querbolzen stabilisiert wird und Fehlstellungen wie auch Knochenverkürzungen, wie sie beim Marknagel vorkamen, verhindern helfen soll. K. Klemm und W.D. Schellmann entwickelten diesen Detentionsnagel zum ab 1972 serienmäßig produzierten Verriegelungsnagel für den Ober- und kurz darauf auch für den Unterschenkel

weiter ⁽⁹⁶⁾. Dabei wurden die Knochenfragmente durch proximale und distale Verriegelungsbolzen in ihrer Stellung fixiert und gegen Rotation, Eintauchung und Auseinanderdriften stabilisiert. Nachdem der Marknagel in den 1960er Jahren zunächst teilweise von der Platte verdrängt worden war, trat nun in den 1970er Jahren der entgegengesetzte Trend ein ^(101,150).

Am besten realisieren lassen sich intramedulläre Verfahren an Tibia und Femur ⁽²²⁸⁾. Beide Knochen bringen ihre eigene Problematik mit.

Die Tibia ist aus Gründen der Statik derart weit nach ventral verlagert, daß sie in Folge dieser Lage ventromedial nur von einem sehr dünnen Weichteilmantel geschützt ist, welcher bei einer Traumatisierung leicht geschädigt werden kann. Laut Haas et al. ⁽⁶⁰⁾ sind bis 68% der durch Zweirad- und Pkw-Unfälle verursachten Tibiafrakturen offene Frakturen. Da der Weichteilmantel sowohl eine protektive als auch eine nutritive Funktion einnimmt, hat seine Schonung eine hohe Priorität bei der operativen Frakturbehandlung. Diese Schonung im Frakturbereich erfolgt bei der geschlossenen Marknagelung, deren Indikation sich jedoch auf Quer- und kurze Schrägbrüche im mittleren Schaftdrittel sowie auf Pseudarthrosen beschränkt ^(1,96,107,221).

Beim unaufgebohrten Marknagel, wegen eines weitestgehenden Erhalts der kortikalen Knochendurchblutung u.a. bei offenen Frakturen eingesetzt ^(100,123), kommt es aufgrund einer im Vergleich zum aufgebohrten Marknagel geringeren Kontaktfläche zwischen Nagel und Knochen zu einer geringeren Verklemmung. Dieser Stabilitätsverlust muß mittels der Verriegelungsschrauben kompensiert werden. Kommt es zu einem Gleiten des Nagels auf einem Verriegelungsbolzen, kann eine Lockerung des Bolzens im Knochen oder ein Bruch von Bolzen bzw. Verriegelungsschraube die Folge sein. Eine Verringerung der Instabilität des unaufgebohrten Marknagels läßt sich mittels winkelstabiler Verbindung zwischen Marknagel und Verriegelungsschraube erzielen; bei Osteoporose und weiten Markraumhöhlen wird die Primärstabilität des Systems erhöht ⁽⁴⁶⁾.

Nachdem sich die unaufgebohrte Verriegelungsnagelung bei der Versorgung von Femur- und Tibiaschaftfrakturen des mittleren Drittels bewährt hatte, bot es sich, dem Trend der 1990er Jahre zur „biologischen Osteosynthese“⁽²³⁰⁾ folgend, an, sie regelmäßig bei diaphysären Frakturen und auch für Humerusschaftfrakturen einzusetzen^(10,63), die üblicherweise konservativ behandelt^(13,22,217). Der Vorteil ist in einer deutlich früheren und schmerzfreien Belastbarkeit zu sehen. Weniger geeignet sind Nagelungen laut Corradi et al. jedoch bei Pseudarthrosen⁽²⁶⁾. Auch der bei schweren Weichteilverletzungen verwendete Fixateur externe wurde durch die Einführung unaufgebohrter Tibiamarknägel wie des AO-Tibiaverriegelungsmarknagels von 1991 allmählich verdrängt^(163,171). Gestützt wird dies durch eine Untersuchung von Schandelmaier, nach welcher der Fixateur externe 26% Pininfekte und eine größere Zahl an Re-Operationen aufweist als der unaufgebohrte Tibiamarknagel⁽¹⁸¹⁾. Die Indikation für den unaufgebohrten verriegelten Tibiamarknagel reicht von geschlossenen, Quer-, Segment- und Mehrfach-Frakturen über Pseudarthrosen bis zu offenen Frakturen. Als Kontraindikationen gelten intraartikuläre Frakturen sowie offene Wachstumsfugen und Osteitiden^(25,109,229). Als vorteilhaft erweist sich der UTN hinsichtlich der einfachen und schnellen OP, der guten Stabilität, der Weichteilschonung, der geringeren Infektionsgefahr, im Vergleich mit dem aufgebohrten Tibiamarknagel ist die Stabilität jedoch geringer und die distale Verriegelung gestaltet sich schwierig^(25,109,149,229).

Der Anwendungsbereich des aufgebohrten Tibiamarknagels wurde im Laufe der Jahrzehnte bis an die metaphysären Enden erweitert⁽¹⁴³⁾. Der verriegelte aufgebohrte Tibiamarknagel wird vor allem im mittleren Drittel, teils auch bis in den diaphysären-metaphysären Übergang eingesetzt. Indikationsbereich sind Mehrfachfrakturen, Trümmerfrakturen, Pseudarthrosen und kurze Querfrakturen^(37,78,145,150,159,222,229).

Regeln aus dem OP-Journal 2/2000 ⁽⁷⁹⁾:

Regeln beim Aufbohren für die Marknagelung:

- Verwendung von scharfen Bohrern
- schrittweises Aufbohren mit 1,5-mm-Abständen
- langsame Vorschubgeschwindigkeit mit evtl. Pausen
- nur so weit aufbohren wie notwendig
- Zwischenfragmente und Segmentfragmente möglichst nicht bohrend überqueren

Regeln zur Erhöhung der Stabilität bei der unaufgebohrten Marknagelung:

- richtiges Kaliber verwenden
- richtigen Eintrittspunkt wählen (besonders am Femur)
- die Länge proximal korrekt wählen
- die Länge distal möglichst lang wählen (d.h. die distale Spongiosa als Lager und abstützenden Fußpunkt verwenden)
- gute und sorgfältig ausgeführte proximale und distale Verriegelung
- in der Nachbehandlung je nach Frakturform und verwendetem Implantat etwas mehr Vorsicht walten lassen als bei der aufgebohrten Marknagelung

Eine Folge der Aufbohrung der Markhöhle ist die Schädigung des intracavitären Gefäßsystems ⁽⁷⁹⁾. Diese Schädigung erfolgt zusätzlich zur bereits durch das Trauma gegebenen Läsion. Hieraus resultiert eine Minderversorgung der inneren Kortikalisanteile bis hin zu einer Unterbrechung der Blutversorgung. Der Knochen muß revaskularisiert werden, was einen entsprechend langen Zeitraum beansprucht. Zudem kann es durch die beim Aufbohrvorgang entstehende Wärme zu einer sogenannten Thermal-Nekrose kommen, wie Karunakar et al. tierexperimentell nachweisen konnten ⁽⁸⁹⁾. Die Konsequenz hieraus muß sein, daß bei einer bereits vorbestehenden größeren Schädigung des periostalen und parossalen Gefäßsystems, wie sie bei offenen Frakturen wie auch bei höhergradigen geschlossenen Weichteilverletzungen gegeben ist, auf die Aufbohrung der Markhöhle verzichtet werden sollte.

Im Trend hin zu winkelstabilen Systemen wurden neue Verriegelungsbolzen entwickelt, die winkelstabil und selbstschneidend sind, sowie Klingen in Form einer Helix bzw. Doppelhelix. Die bei Platten bereits bewährte winkelstabile Verriegelung hält somit nun auch Einzug in die Marknagelung. Im Rahmen der Weiterentwicklung der Marknageltechnik wurden die Verriegelungslöcher zum Teil weiter bis an die Nagelenden verlegt, so daß eine Versorgung mit Verriegelung im Metaphysen- und Gelenkbereich möglich wird. Neue Zielbügel erleichtern die sichere insertionsferne Verriegelung. Proximal schleifenförmig umgebogene Federnägel und im Kleeblattprofil zusammengefaltete expandierbare Nägel stellen weitere Neuerungen dar ⁽⁷⁶⁾.

1.4. Die Versorgung der Humerusfraktur

Die Humerusfraktur hat mit 1% einen geringen Anteil an den Extremitätenfrakturen ⁽¹⁹²⁾. Es handelt sich meist um einfache Frakturen im mittleren Schaftdrittel mit einer sowohl bei konservativer als auch bei operativer Behandlung guten Heilungsprognose ⁽²¹⁷⁾. Üblicherweise wird sie konservativ behandelt mit Heilungsraten bis über 90% ^(13,91); aufgrund der Kompensationsmöglichkeiten des Schultergelenks stören auch leichte Fehlstellungen nicht ^(13,217). Eine verbreitete Methode zur funktionell-konservativen Frakturbehandlung ist der von Sarmiento und Latta entwickelte Brace, eine variabel über Klettverschlüsse befestigte Kunststoffmanschette mit Freilassung der Gelenke, womit nach 6-10 Wochen eine stabile knöcherne Durchbauung zu erreichen ist ⁽¹⁸⁰⁾. Die Pseudarthroserate von 1 - 12% mit der daraus resultierenden Nachbehandlung ist jedoch nicht zu unterschätzen ^(75,240).

Die anatomischen Besonderheiten des Humerus, seine Beanspruchung durch Zug- und Rotationskräfte in Form von Muskelkraft - im Unterschied zur tragenden Beanspruchung von Femur und Tibia - müssen bei der Frakturversorgung berücksichtigt werden. Eine konservative Behandlung kann zum Erfolg führen ^(10,13,44,91).

Bei der operativen Versorgung wurde lange Zeit die Plattenosteosynthese favorisiert ^(97,196), intramedulläre Kraftträger wurden aufgrund der Geometrie des Humerusschaftes für ungeeignet gehalten ^(173,192,217). Zur Versorgung proximaler Humerusfrakturen liegen positive Erfahrungen mit winkelstabilen Platten (LPHP) vor ⁽²²⁴⁾.

Da Platten den Nachteil aufweisen, das Risiko einer Schädigung des Nervus radialis mit sich zu bringen ^(65,139,169,193), stellen Humerusmarknägel eine gute Alternative dar, da sie diesen Nachteil nicht haben ⁽¹⁶⁹⁾, jedoch ebenfalls die gewünschte Stabilität gewährleisten. Für proximale Humerusfrakturen bietet sich der proximale Humerusnagel (PHN) an ⁽²¹⁴⁾.

Intramedulläre Verfahren mit rotationsstabilen Kraftträgern bringen jedoch auch Nachteile mit sich, z.B. das Risiko der iatrogenen Fraktur beim Einbringen des Seidel-Nagels ⁽¹⁷³⁾ und ein Impingement-Syndrom durch proximalen Nagelüberstand ⁽⁹³⁾. Zur Verhinderung dieser Komplikationen wurden retrograd einzubringende Nägel entwickelt, u.a. der Russel-Taylor-Nagel und der Unreamed Humerus Nail (UHN) der AO. Allerdings sind auch bei retrograden Nägeln wie dem UHN oder dem HVN (Humerusverriegelungsnagel) iatrogene Frakturen beobachtet worden ⁽¹²¹⁾.

1.5. Die Versorgung der Radiusfraktur

Radiusköpfchenfrakturen gemäß Mason Typ 2 sind nach Ansicht von Zimmermann et al. mittels Schraube zu versorgen, Typ 1 konservativ, bei Typ 3 und 4 muß im Regelfall das Radiusköpfchen reseziert werden ⁽²⁴³⁾. Die distale Radiusfraktur stellt die häufigste Fraktur des menschlichen Skeletts dar mit bis zu 25% ^(162,164,236) und einer Inzidenz von 2-3 pro Tausend Einwohner ⁽²⁴¹⁾. Lange Zeit galt sie als Domäne der konservativen Behandlung; diese ist heute nur noch bei stabilen Frakturen indiziert. Komplikationen der konservativen Behandlung, von Lorenz Böhler Anfang des 20. Jahrhunderts als Knochenbruch-Krankheit bezeichnet ⁽²⁰⁶⁾, haben dazu geführt, daß es schließlich Mitte der 1990er Jahre zu einem Therapiewandel hin zur operativen Behandlung mit Osteosynthese und frühfunktioneller Nachbehandlung kam

(165,170,236). Verwendung finden Draht, Fixateur externe und dorsale bzw. palmare Platten (124,170,236,241). Die Bohrdrahtosteosynthese geht zurück auf De Palma (27) mit der Empfehlung der transulnaren Fragmentfixation und Willenegger (238) mit der Empfehlung der perkutanen Bohrdrahtosteosynthese ohne Transfixation der Ulna. Die Fixation von Trümmerbrüchen mit dem Fixateur externe wurde von Jakob (85) gefordert. Als Indikation zur Bohrdrahtosteosynthese sehen Letsch et al. (116) instabile extraartikuläre Frakturen vor allem bei älteren Menschen, intraartikuläre Extensionsfrakturen ohne Trümmerzone mit gut reponierbarer Gelenkstufe und kindliche Frakturen mit Beteiligung der Wachstumsfuge. Die Plattenosteosynthese sehen sie indiziert bei Flexionsfrakturen vom Typ Smith-Goyrand, dislozierten irreponiblen Gelenkbrüchen mit mindestens 2 Hauptfragmenten, die Aussicht auf einen sicheren Schraubenhalt gewährleisten, instabilen extraartikulären Extensionsfrakturen besonders bei jüngeren Patienten, im allgemeinen nach sekundärer Dislokation, kombinierten Meißelfrakturen des Processus styloideus radii und des Os scaphoideum und Korrekturosteotomien nach fehlverheilten Radiusfrakturen jeglichen Typs. Je nach Frakturtyp halten sie im Fall der kombinierten Meißelfrakturen auch eine alleinige Schraubenosteosynthese für ausreichend.

Letsch et al. (116) verglichen die Bohrdrahtfixation mit der Plattenosteosynthese. Von 1975 bis 1985 wurden 425 Radiusfrakturen loco typico versorgt, was einem Anteil von ca. 20% der im gleichen Zeitraum insgesamt behandelten Radiusfrakturen entsprach. Zur Anwendung kamen 40 Schrauben- und Fixateur-externe-Osteosynthesen, 226 Bohrdraht-Osteosynthesen und 159 Plattenosteosynthesen; von den Plattenosteosynthesen erfolgten 43 (27%) in Verbindung mit einer Spongiosaplastik. Sowohl bei den mit Bohrdrahtosteosynthese als auch bei den mit Plattenosteosynthese versorgten Patienten überwogen die Frauen mit einem Anteil von 2/3, das Durchschnittsalter lag in beiden Gruppen knapp über 50 Jahre. Die Bohrdrahtfixation wurde außer bei vereinzelt Smith-Frakturen bei den einfachen Formen der irreponiblen oder instabilen Colles-Frakturen mit und ohne Gelenkbeteiligung angewandt, die Plattenosteosynthese bei

Extensionsfrakturen mit und ohne Gelenkbeteiligung sowie Flexionsfrakturen. Von 206 mit Bohrdrahtfixation und 148 mit Plattenosteosynthese Patienten, die postoperativ nachuntersucht werden konnten, ergab die Bohrdrahtfixation in 79% sehr gute und gute Ergebnisse bei einer Reosteosyntheserate von 5,3%, die Plattenosteosynthese ergab in 72% sehr gute und gute Ergebnisse bei einer Reosteosyntheserate von 4,7%, so daß sich beide Verfahren entsprechend ihrer Indikationsstellung als geeignet erwiesen.

Da bei instabilen distalen Radiusextensionsfrakturen die Plattenosteosynthese von dorsal häufig eine Gelenkfreilegung und Spongiosaplastik und später eine Materialentfernung bei Irritation der Strecksehnen erforderlich macht, werden bevorzugt palmare T-Platten verwendet ^(30,177). Aktuell geht der Trend insbesondere bei instabilen distalen Radiusfrakturen zu winkelstabiler Osteosynthese mit PC-Fix, LCP und LISS unter anderem mit dem Ziel, die Komplikationen der üblichen dorsalen Plattenosteosynthese wie Implantatversagen bei osteoporotischem Knochen, Strecksehnenbeeinträchtigung und durch Störung der periostalen Durchblutung bedingte Heilungsstörungen zu vermeiden ^(165,189). Da die Schrauben der LCP auch in osteoporotischem Knochen einen sicheren Halt finden, ist auch bei diesen problematischen Frakturen ein komplikationsloser Verlauf erreichbar ⁽¹²⁵⁾. Aufgrund ihrer Winkelstabilität ist eine Spongiosa-Unterfütterung der dorsalen Trümmerzone nicht mehr notwendig, zudem erlaubt diese Stabilität auch eine frühfunktionelle Nachbehandlung ⁽¹⁹⁹⁾.

1.6. Die Versorgung der Schenkelhalsfraktur

Die Schenkelhalsfraktur bringt für ihre Therapie zwei Probleme mit sich, einerseits die Lage des Femurkopfes, durch die eine konservative Therapie erschwert wird, und andererseits die Blutversorgung des Femurkopfes ⁽⁸⁰⁾.

Frakturen im Trochanterbereich zählten bereits vor drei Jahrzehnten aufgrund der steigenden Lebenserwartung mit 18,5% zu den häufigsten Frakturen ⁽²⁰⁸⁾; die Letalitätsrate liegt laut Teubner bei konservativer Behandlung bei 30,8%.

Sie erklärt sich u.a. durch die hohen Liegezeiten, Verstärkung von im Alter oftmals vorbestehenden Erkrankungen, hypostatischer Pneumonie, Herzversagen, apoplektischem Insult und schweren arteriellen Verschlusskrankheiten ^(174,185). Die Letalitätsrate bei operativ versorgten Frakturen gibt Teubner mit 18,6% an. Die operative Behandlung erlaubt eine frühzeitige Belastung und einen verkürzten Krankenhausaufenthalt. Betroffen sind vorwiegend Frauen, was mit der bei ihnen früher und ausgeprägter auftretenden Osteoporose zu erklären ist ⁽²²⁰⁾.

Werden die Aa. circumflexae oder ihre Rr. nutritii unterbrochen (Versorgungsanteil 80%), wird der Schenkelhalskopf nur noch durch die A. capitis femoris versorgt (Versorgungsanteil 20%; ⁽²¹⁶⁾), was oftmals nicht ausreichend ist, so daß es in 12-43% zu einer Schenkelhalskopfnekrose kommt ^(13,48,86). Daher galten Schenkelhalsfrakturen bis zur Jahrhundertwende als untherapierbar und zur Vermeidung einer Kopfnekrose wurde die primäre Kopfexstirpation empfohlen.

Garden und Pauwels erstellten Einteilungen der Schenkelhalsfrakturen anhand des Ausmaßes der Fragmentdislokation und des Neigungswinkels des Frakturspalts, aus denen sich Rückschlüsse auf die Heilungschance einer Fraktur ziehen lassen ^(47,148).

Daß eine konservative Versorgung von Femurkopffrakturen in einzelnen Fällen möglich ist, zeigte Whitman durch Verwendung eines Beckenbeingipsverbandes mit Abduktion und Innenrotation ^(12,235); die Methode erbrachte in 66% der Fälle gute Ergebnisse ⁽⁵⁾. Da die konservativen Methoden, die u.a. Heftpflaster- und Drahtextension beinhalteten, von älteren Patienten oft nicht toleriert wurden, ergab sich der Wunsch nach einer stabilen Osteosynthese.

Ein Versuch einer Osteosynthese bei Schenkelhalsfraktur wurde von Langenbeck (1858) mittels Schenkelhalsschraube unternommen ⁽¹⁷⁸⁾. Eine geeignetere Methode stellte der von Smith-Petersen verwendete Dreilamellennagel (1925) dar ⁽²³³⁾, dessen Ausführung von Johannsen et al. später (1932) durch Einführung einer zentralen Bohrung für einen

Führungsdraht verbessert wurde ^(12,39,122). Eine Weiterentwicklung dieser starren Nägel war der Spreiznagel nach Viernstein, der durch das Ausfahren von drei Haken im Hüftkopf eine Kompression der Fraktur möglich machte. Eine weitere Variante stellte die von Thornton eingeführte Kombination mit einer lateral befestigten Platte dar ⁽²¹³⁾.

Küntscher beschrieb Anfang der 1950er Jahre die Vorteile des steilen Marknagels, der im Bereich der natürlichen Kraftübertragung platziert wird und einem geringeren Biegemoment ausgesetzt ist, und führte 1954 den Y-Nagel ein ⁽¹³³⁾, der 1984 von Grosse und Kempf weiterentwickelt wurde ⁽¹⁰³⁾. Ab 1965 verwendete er den von ihm entwickelten Trochanternagel, um Frakturen im Bereich des Femurmassivs zu versorgen ^(69,239).

Anfang der 1960er Jahre wurde von der AO die Verwendung von Winkel- und Condylenplatten zur Behandlung von Schenkelhalsfrakturen beschrieben. Die 130° Winkelplatte bietet eine hohe Belastungsstabilität mit interfragmentärer Kompression. Die Condylenplatte trägt das proximale Fragment auf der Klinge und reduziert so den Druck.

Die Anfang der 1960er Jahre bei medialen Schenkelhalsfrakturen älterer Patienten (über 60 Jahre) verwendete Hüftkopfprothese nach Moore und Thomson wurde Mitte der 1960er Jahre durch die Hüfttotalendoprothese (Hüft-TEP) verdrängt.

Eine abgewandelte Form der Nagelung stellte die 1970 von Ender und Simon-Weidner eingeführte Behandlung mit 3-5 gebogenen, elastischen Federnägeln dar, welche sich insbesondere für ältere Patienten als geeignete Methode erwies ⁽³⁸⁾.

Da starre Nägel den Nachteil haben, ins Hüftgelenk durchzudringen, konstruierte man im nächsten Schritt Nägel und Schrauben mit Gleitvorrichtung, beispielsweise die Laschenschraube nach Pohl und die dynamische Hüftschaube der AO ⁽¹⁵⁴⁾. Pohl, der Entwicklungsingenieur Gerhard Küntschers, erhielt 1951 ein Patent für seine „Verbindungsvorrichtung

für gelenknahe Knochenbrüche“ ⁽¹⁵¹⁾, durch welche ein „gegenseitiges Verschieben der Knochenteile im Sinn des Aneinanderpressens der Bruchflächen möglich sein“ sollte ⁽¹⁶⁾. Hieraus entstand die Pohl'sche Laschenschraube.

Die Laschenschraube stellt ein teleskopierendes Verfahren dar. Hierbei wird eine Schraube in den Hüftkopf geschraubt, deren distaler Teil von einer Lasche umhüllt wird. Der distale Laschenschenkel wird lateral am Femurschaft angeschraubt ⁽¹⁸⁶⁾.

Bewährt haben sich letztlich die AO Winkel- und Condylenplatte, die Hüft-TEP, der Trochanternagel nach Küntscher, die Federnagelung nach Ender und Simon-Weidner und der Dreilamellennagel nach Smith-Petersen ⁽¹⁹⁸⁾. Proximale Femurfrakturen der Trochanterregion lassen sich extramedullär mit DHS und der weniger belastbaren Kondylenplatte bzw. Winkelplatte stabilisieren, an intramedullären Verfahren haben sich Gammanagel und proximaler Femurnagel bewährt ^(118,152,190). Untersuchungen von Bonnaire zeigten eine hohe Stabilität der Kombination DHS + Schraube, gefolgt von der DHS. Die isolierte Verwendung von Schrauben bzw. 130°-Winkelplatte erwiesen sich als weniger stabil ⁽¹⁵⁾. Das winkelstabile synamische Schraube-Platte-System birgt aufgrund des großen Drehmoments der relativ großen Schraube die Gefahr einer Rotation des proximalen Fragments beim Einbringen mit einem Maximum beim Erreichen des Bohrkanal-Bodens, so daß die Schraube kürzer zu wählen ist als der Bohrkanal ⁽¹¹²⁾.

1.7. Versorgung von Femurfrakturen

Bei der Verwendung eines Nagels werden die im Bereich der unteren Extremität einwirkenden axialen Kräfte auf einen intramedullären Kraftträger übertragen. Da die Markhöhle des Femurs ein weitgehend gleichmäßiges Kaliber aufweist, wird eine ausreichende elastische Verklemmung des Marknagels erreicht, welche in der Schaftmitte größer ist als an den

gelenknahen Schaftenden. Aufgrund der im proximalen bzw. distalen Schaftende schlechteren Verklemmbarkeit ist die Indikation zur Marknagelung bei einer Fraktur in diesem Bereich als nur relativ zu betrachten, da die Gefahr einer Rotation der Fragmente hier größer ist.

Diese Rotation kann jedoch durch Einbringung von Querbolzen drastisch reduziert werden. Diese Methode setzte Küntscher bei infizierten Pseudarthrosen ein, womit der Indikationsbereich für intramedulläre Nagelung erweitert wurde ⁽⁹⁵⁾.

Die Indikation zur dynamischen bzw. statischen Verriegelungsnagelung wird von Vescei ⁽²²¹⁾ folgendermaßen aufgegliedert:

Dynamische Verriegelung: Quer-, Schräg- oder Torsionsbrüche im proximalen oder distalen Schaftbereich.

Statische Verriegelung: Mehrfragmentfrakturen im proximalen, mittleren oder distalen Schaftbereich, Segmentfrakturen, Defektbrüche und -pseudarthrosen, Verlängerungs und Verkürzungsosteotomien.

Die dynamische Verriegelung kann proximal und distal erfolgen.

Die proximal-dynamische Verriegelung erfolgt durch das Einbringen von 2 proximalen Gewindeschrauben (medio-lateral und anterior-posterior), durch welche sich Kipp- und Drehmomente des kurzen Fragments neutralisieren lassen ⁽²⁰⁹⁾.

Die distal-dynamische Verriegelung erfolgt durch das Einbringen von 2 Querschrauben am distalen Nagelende in medio-lateraler Richtung ⁽⁵⁸⁾. Sie wird verwendet, wenn das distale Fragment kürzer ist.

Bei der statischen Verriegelung schließlich wird proximal (medio-lateral und anterior-posterior) und distal (medio-lateral) je ein Schraubenpaar eingebracht, wodurch die 3 Freiheitsgrade der Knochen-Nagel-Verbindung aufgehoben werden und der Nagel verstärkt zum Kraftträger wird. Üblicherweise erfolgt nach wenigen Wochen eine Dynamisierung durch Entfernung eines Schraubenpaares ⁽²²¹⁾.

Eine Femurfraktur ist bei einem Drittel aller Polytraumatisierten anzutreffen, wo sie, um das Risiko eines traumatisch-hämorrhagischen Schockgeschehens zu reduzieren, primär stabilisiert werden sollte ^(155,218).

Schmidtmann et al. ⁽¹⁸³⁾ haben die Plattenosteosynthese beim polytraumatisierten Patienten untersucht, da in diesen Fällen und speziell bei Schädel-Hirn-Trauma eine primäre Marknagelung Risiken birgt. Zwischen 1994 und 1996 untersuchten sie 17 Fälle mit elastischer Plattenosteosynthese bei polytraumatisierten Patienten mit einfacher Oberschenkelschaftfraktur. Die Untersuchungen ergaben, daß die beste Versorgung in einer vorübergehenden primären Stabilisierung mittels Fixateur externe und einem anschließenden Verfahrenswechsel zu Marknagel oder Platte bestand. Aufgrund der Erkenntnis, daß der Marknagel zwar die bessere Stabilität gewährleistet, zugleich jedoch ein hohes Risiko für Fettembolie ^(66,67,183,231) und Anstieg des intrazerebralen Drucks mit sich bringt, entschied man sich für die Plattenosteosynthese.

Eine weitere Studie zur Plattenosteosynthese von Femurfrakturen bei polytraumatisierten Patienten wurde von Aufmkolk et al. ⁽⁶⁾ durchgeführt. Hierzu wurden im Zeitraum 1975-1993 325 Fälle untersucht. Man kam zu dem Ergebnis, daß eine plattenosteosynthetische Versorgung keinen Einfluß auf die Letalität hatte, jedoch wurde eine höhere Rate an pulmonalen Komplikationen sowie eine höhere Letalität bei mit Marknagelung versorgten Frakturen beobachtet. Als ursächlich hierfür wird die Freisetzung von Knochenmark während des Aufbohrens und Einschlagens angesehen, hervorgerufen durch Druckspitzen ^(6,66,67,231). Die Aktivierung von Mediatoren begünstigt dann die Entstehung eines Lungenversagens insbesondere bei polytraumatisierten Patienten mit Lungenkontusion. Druckspitzen dieser Art wurden bei Plattenosteosynthese nicht beobachtet. Der Nachteil der Plattenosteosynthese besteht jedoch in einer im Vergleich zur Marknagelung verzögerten Belastbarkeit. Insbesondere im Vergleich zur aufgebohrten Marknagelung kommen Materialbrüche, verzögerte Bruchheilung und Pseudarthrosen häufiger vor. Da der polytraumatisierte Patient jedoch ohnehin länger nicht mobilisiert werden kann, schlagen sich diese Nachteile im Regelfall nicht nieder.

Keinen Zusammenhang zwischen der Marknagelung und der Lungenfunktion bei Polytrauma-Patienten mit Lungenkontusion fanden hingegen Handolin et al. Von 61 im Zeitraum 01/2000 - 06/2001 intensivmedizinisch betreuten Patienten, die in die Studie einbezogen wurden, hatten 27 eine Fraktur mindestens eines langen Röhrenknochens der unteren Extremität. Es ließ sich kein signifikanter Unterschied feststellen in der Beatmungszeit, der Lungenfunktion, ARDS- oder Pneumonierate.

Eine Verletzungsart, die durch Sport- und Straßenverkehrsunfälle verursacht wird und damit über die Jahre zugenommen hat, ist die distale Femurfraktur. Diese wurde in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts konservativ behandelt, was jedoch fast immer zu unbefriedigenden Ergebnissen führte und im Regelfall entweder eine Arthrodese des Kniegelenks oder eine orthetische Versorgung zur Folge hatte ⁽¹⁴¹⁾. Umansky berichtete 1948 über den Gebrauch einer „blade plate“, mit welcher erstmals bessere Ergebnisse erzielt werden konnten ⁽²¹⁹⁾. 1956 berichteten White und Russin ebenfalls über Erfolge mit der „blade plate“ ⁽²³⁴⁾.

Als weitere Methode wurde die Drahtextension nach Kirschner eingesetzt, jedoch mit unbefriedigenden Ergebnissen ^(135,237).

In der Mitte des 20. Jahrhunderts zeichnete sich dann allmählich eine Wende ab. Lange (M. Lange) verwendete zur Versorgung distaler Femurfrakturen eine Schraube, welche durch die Condyle geschraubt wurde, und eine Platte, welche am Schaft fixiert wurde. Dadurch konnte eine Condylenfraktur komprimiert werden, was eine Konsolidierung förderte. Böhler ⁽¹²⁾ hingegen sprach sich gegen dieses Verfahren aus, da es seines Erachtens zu invasiv sei.

1963 führte die AO eine Condylenplatte als erfolgreiches Verfahren ein. Dies führte dazu, daß nun die operative Therapie zum Standard wurde.

Sechs Jahre später erfolgte die Einführung der Condylenabstützplatte durch Burri ⁽²⁴⁾, welcher forderte, die konservativen durch operative Methoden zu ersetzen.

Zudem werden distale Femurfrakturen mit intramedullären Verfahren versorgt. Nach Erfahrungen mit der antegraden Marknagelung ⁽¹¹⁷⁾ gibt es auch Berichte über die retrograde Marknagelung ⁽¹⁹⁴⁾, welche eine rasche Mobilisierung des Patienten erlaubt und ohne Verfahrenswechsel bis zur Ausheilung führt, einsetzbar bei offenen und geschlossenen distalen Femurfrakturen sowie supra- und diakondylären Frakturen mit guten Ergebnissen, wenngleich die Implantationstechnik als anspruchsvoll gilt ⁽¹⁴⁴⁾.

1.8. Versorgung von Tibiafrakturen

Die Hauptursachen für Tibiafrakturen sind Verkehrs- und Sportunfälle, wobei der Anteil der Verkehrsunfälle über die Jahre zu- und der Anteil der Sportunfälle abgenommen hat. Rüedi ⁽¹⁷²⁾ hat im Zeitraum 1966 bis 1972 Frakturen untersucht, deren Ursachen er aufschlüsselte in 42,8% Sport-, 36,5% Verkehrs- und 7,1% Arbeitsunfälle. Strecker ⁽²⁰³⁾ untersuchte Frakturen im Zeitraum 1990 bis 1995, aufgegliedert in 35% Motorrad-, 15% Sport-, 13% Arbeits-, 10% PKW- und 27% sonstige Unfälle, der Anteil der Männer lag bei 72,5%. Für das Jahr 1998 schließlich erbrachte eine Untersuchung von Müller ⁽¹³⁷⁾ einen Anteil von 34% Motorradunfällen, 21% Autounfällen, 18% verletzten Fußgängern, 6% Fahrradunfällen und 4% LKW-Unfällen, 9% waren verursacht durch Sturz aus geringer Höhe, 6% Sportunfälle und 4,5% sonstige Unfälle, 72% der Verletzten waren männlich.

Als Vorteile der operativen Versorgung von (Tibia-)Frakturen sind die übungsstabile Fixation, Vermeidung der Frakturkrankheit und frühe Mobilisation sowie eine niedrige Rate verzögerter Heilungen zu nennen ⁽¹⁶⁸⁾.

Bei der aufgebohrten Marknagelung der Tibia stehen im Gegensatz zur Femurmarknagelung mit ihren pulmonalen Komplikationen die vaskulären Schäden im Vordergrund. Beim Aufbohren der Tibia zum Einbringen eines intramedullären Kraftträgers kommt es zu einer Zerstörung des medullären Gefäßsystems und hierdurch zu einer Zylindernekrose von 50-70% des inneren Kortex ^(94,146). Da bei intramedullärer Osteosynthese das Frakturgebiet bei

geschlossener Vorgehensweise nicht freigelegt wird, bleibt der Periostschlauch erhalten und kann die Versorgung des Kortex übernehmen ⁽²²¹⁾. Für die als schwierig geltende Versorgung proximaler Tibiafrakturen wurde der proximale Tibianagel als stabiles Verfahren entwickelt, der eine hohe Steifigkeit für die außeraxiale Belastung mitbringt ⁽⁶¹⁾.

Eine andere Möglichkeit der osteosynthetischen Versorgung von Tibiafrakturen ist die Verplattung. Als Nachteil sind die intraoperative Verletzung von Periost und periostalem Gefäßnetz zu sehen ⁽¹⁵³⁾ und die Störung der Knochenvascularität mit der Gefahr der Ausbildung avitaler Fragmente ⁽⁵²⁾.

Lorenz Böhler schuf eine Systematisierung der konservativen Behandlung von Tibiaschaftfrakturen ⁽²¹⁵⁾. Seine Behandlungstechnik wurde von Ender, Krotschek und Jahna modifiziert ^(40,82,83,84) mit gutem Ergebnis. Sarmiento entwickelte das „Bracing“ als leistungsfähige Methode; hierbei handelt es sich um eine äußere Schienung unter Auslassung des Kniegelenks ⁽¹⁷⁹⁾.

Menck et al. sehen in dem Umstand, daß die distale Tibia von nur einem Gefäß, der A. tibialis anterior, versorgt wird, die Ursache für die häufige Pseudarthrosenbildung der distalen Tibia ⁽¹³⁰⁾.

1.9. Versorgung von Klavikulafrakturen

Die Klavikulafraktur zählt zu den häufigsten Frakturen des menschlichen Skeletts mit einem Anteil von 10-12% ^(42,142). Die Versorgung von Klavikulafrakturen ist klassischerweise eine Domäne der konservativen Methoden. Bei konservativer Behandlung von Klavikulafrakturen werden jedoch in 25% der Fälle radiologisch und kosmetisch unbefriedigende Ergebnisse beobachtet in Form von Verkürzung und Fehlstellung, in 5% ergibt sich eine schwere Einschränkung der Schulterfunktion ^(20,176,184). Andererseits berichten manche Autoren auch über ein in bis zu 100% der Fälle gutes bis sehr gutes Ergebnis bei Beachtung der Indikationsstellung ⁽⁷¹⁾.

Mit ein Grund, warum operative Verfahren nur zögerlich Anwendung fanden, mag in der Form der Klavikula zu sehen sein, welche durch ihren S-förmigen Verlauf eine Einbringung von Osteosynthesematerial erschwert. Es haben sich verschiedene Meinungen darüber herausgebildet, nach welchen Kriterien zu entscheiden ist, welche Methode in welchem Fall am geeignetsten ist, wenn es um die Behandlung von AC-Gelenkverletzungen oder Klavikulafrakturen geht. Da Klavikulafrakturen eine gute Heilungstendenz aufweisen, werden sie jedoch gerne als harmlos betrachtet ⁽²¹⁰⁾.

Obschon konservative Verfahren die klassische Methode zur Behandlung von Klavikulafrakturen darstellen und bereits seit Hippokrates bekannt sind, haben sich nur wenige Verfahren durchsetzen können.

Zu den verbreitetsten Methoden zählt der Rucksackverband. Er kann jedoch keine sichere Ruhigstellung der Fraktur gewährleisten, so daß es im Rahmen des Heilungsprozesses zu einer überschießenden Kallusbildung kommen kann, welche zu Plexusirritation und Gefäßkompression führen kann ⁽⁹⁰⁾.

Stabilität während des Heilungsprozesses und Vermeidung einer Kallusbildung sind Ziele der Osteosynthese. Da die Klavikula bei jeder Armbewegung Scher- und Torsionskräften ausgesetzt ist, ist die Stabilität der Osteosynthese besonders wichtig ⁽¹¹⁾. Dies gilt auch für eine Verletzung der Bänder im AC-Gelenk; hier dienen die Implantate jedoch nur der Sicherung der Bandnähte und sollen nach 6 - 12 Wochen entfernt werden ^(175,200,211). Ob bei AC-Gelenksverletzungen die Naht der Bandstrukturen notwendig ist, wird widersprüchlich diskutiert ^(49,68,128,134,225). Die Sicherung der Bandrekonstruktion erfolgt unter Verwendung von Materialien wie Drahtcerclagen, Sehnenstreifen, Kunststoffbändern, Faszie, Kutis, Seidenfäden und der Bosworth-Schraube ⁽¹²⁷⁾. Ein weiteres Material zur Stabilisierung bei der Rekonstruktion im AC-Gelenk bildet die Polydioxan-Kordel ⁽¹⁶¹⁾. Es wird eine PDS-Kordel um Klavikula und Coracoid und eine weitere, eingebracht durch 2 Bohrlöcher im AC-Gelenk, achterförmig um Klavikula und Akromion gelegt ⁽⁹²⁾. Frakturen im medialen und proximalen Anteil der Klavikula werden im Regelfall konservativ behandelt mit einer Pseudarthroserate von etwa 7% ^(31,42,108,119,191). Hingegen ist eine Fraktur im lateralen Klavikula-Drittel

besonders pseudarthrosegefährdet und daher osteosynthetisch zu behandeln ^(7,31,81), wobei die Bohrdraht-Zuggurtung als Methode der Wahl gilt ^(3,41,140), durchgeführt mit zwei parallelen Bohrdrähten, meist transakromial eingebracht, und einer achterförmigen Drahtcerclage.

Als Methoden zur Versorgung von Klavikulafrakturen kommen in Frage die Verwendung von Draht, Platten, Schrauben und Nägeln. Intramedulläre Verfahren ⁽¹³⁸⁾ werden als kritisch betrachtet u.a. aufgrund einer oftmals nicht ausreichenden Rotationsstabilität ^(32,33). Dennoch sind je nach Material und Frakturlokalisation Erfolge erreichbar; bei der Versorgung von Frakturen im mittleren Drittel der Klavikula mit einem elastischen Titannagel lassen sich gute Ergebnisse erzielen ⁽¹⁵⁸⁾. Auch gibt es Berichte über gute Ergebnisse bei Verwendung von Rush-Pins ⁽¹⁹⁵⁾.

Als Verfahren bewährt hat sich die Plattenosteosynthese ⁽¹⁰⁸⁾. Meves entwickelte 1973 eine S-förmige Halbrohrplatte, um der speziellen Form der Klavikula gerecht zu werden ⁽¹³²⁾.

Ein geeigneteres Verfahren stellt die von der AO eingeführte DC-Platte dar, eine 3,5mm Rekonstruktionsplatte zur dynamischen Kompression, welche sich der Form der Klavikula anpassen lässt ⁽⁷²⁾.

Alternativ zur Osteosynthese mit metallischen Implantaten wird von Moschinski et al. ein Vicryl-Band zur Refixation des dislozierten proximalen Fragments am Coracoid verwendet ⁽¹³⁶⁾. Da dieses Implantat einen schnellen Reißkraftverlust aufweist, muß der Arm für 5-6 Wochen im Abduktionsstützverband ruhiggestellt werden.

Nach Osteosynthese der Klavikula kann es zu einer Lockerung oder einem Bruch des Implantats kommen, bei Plattenosteosynthesen oftmals aufgrund einer mangelhaften Adaptation der Platte an die physiologische Krümmung der Klavikula.

1.10. Die Metallose

Metallische Osteosynthesematerialien bieten zwar Vorteile hinsichtlich der Stabilität, jedoch sind sie nicht ohne unerwünschte Nebenwirkungen ⁽¹⁸⁷⁾. Als wichtigste Kritikpunkte sind zu nennen:

- Die Metallose. Bürkle de la Camp prägte 1963 diesen Begriff, unter welchem er durch Metallimplantate verursachte Schädigungen zusammenfaßte. Bei Verwendung von Nickel-Chrom-Kobalt-Legierungen kann es zu Sensibilisierung kommen ^(9,87,131,226). Hierholzer et al. haben bei aseptischen Implantatträgern in 0,3% der Fälle eine Allergie gegen das verwendete Material festgestellt und bei infizierten Implantaten in 0,68% der Fälle ⁽⁷³⁾. Eine stärkere Häufung beschreiben Scherer et al. mit einer Hypersensitivität gegen Nickel, Cobalt und Chrom von 4,12 % nach Erstimplantation und 9,35 % bei Revision ⁽¹⁸²⁾.

Diese Legierungen und ihre Einzelbestandteile haben sich zudem im Tierversuch als kanzerogen erwiesen ^(18,129).

Bei Verwendung von Edelstahlimplantaten kann es zu Korrosionen kommen ⁽²¹⁾, welche ursächlich sind für lokale Weichteil- und Knochenveränderungen mit aseptischen Entzündungen.

- Die Fremdkörperwirkung, die von Implantaten ausgeübt werden kann, hat Reizkallusbildung, verzögerte Heilung und Pseudarthrosenbildung zur Folge ⁽¹¹¹⁾.
- Metallische Implantate müssen nach Abschluß der Frakturheilung operativ entfernt werden. Gemäß einer Veröffentlichung von Eitenmüller et al. aus dem Jahr 1986 betragen die hierdurch entstehenden Kosten in der Bundesrepublik Deutschland etwa 40-50 Mio. DM ⁽³⁴⁾.
- Verbleibt das Osteosynthesematerial auch nach Abheilung der Fraktur noch längere Zeit im Knochen, so ist, bedingt durch das

Osteosynthesematerial als Kraftträger, eine Umverteilung des Kraftflusses die Folge, welche, insbesondere bei Verwendung von Platten, zu einer Osteopenie führt und als Streßprotektion bezeichnet wird (2,19,201). Wird aus dem geschwächten Knochen das Material entfernt, sind Sekundärfrakturen die Folge (28,53,59,88,98,115,126).

- Ein weiteres bei Metallimplantaten gegebenes Problem ist die teilweise eingeschränkte Beurteilbarkeit von Röntgenaufnahmen durch Artefakte.

Aufgrund dieser Nachteile wurde nach alternativen Materialien gesucht.

1.11. Biodegradierbare Materialien

In den 1960er Jahren begann man, als Weiterentwicklung der zur Osteosynthese verwendeten Materialien, sich der Erprobung und dem Einsatz biodegradierbarer Materialien zuzuwenden. Kulkarni et al. berichteten 1966 über Erfahrungen mit Polylactid (PLA) ^(105,106).

Kronenthal führte vier Stadien der Polymer-Degradation in vivo auf: Wasseraufnahme (Hydratation), Festigkeitsverlust, Formverlust, Massenverlust (Verflüssigung) ⁽¹⁰⁴⁾. Der Abbau erfolgt durch Hydrolyse oder Esterasen und Carboxypeptidasen mit anschließender Verstoffwechslung im Citratzyklus zu Kohlendioxid und Wasser.

Die gängigen biodegradierbaren Materialien bestehen aus resorbierbaren Polyester. Zu nennen sind Polydioxan (PDS) (Ethipin) ^(29,43,54), Polylactid (Polypin) ^(34,35,36) und Polyglycolsäure-PGA (Biofix) ^(8,74). PDS bietet zwar eine geringere Festigkeit, aber auch eine längere Resorptionszeit.

Rehm berichtet 1983 über Erfahrungen mit der Verwendung von Kordel aus Polydioxanon für Bandplastiken am oberen Sprunggelenk ⁽¹⁶⁰⁾. Nach seiner Erfahrung läßt sich mit Polydioxanon-Kordel in Verbindung mit Verbundstoffen aus Polylactid eine Innenknöchelzuggurtung durchführen, ohne daß ein metallisches Implantat benötigt würde, sowie eine Versorgung von frischen Schulterreckgelenks- und Sternoklavikularsprengungen, wobei die Polydioxanon-Kordel einen flexiblen Draht ersetzt ⁽¹⁵⁷⁾. Zudem sind seinen Beobachtungen zufolge Fortschritte erzielt worden bei Verwendung von Verbundwerkstoffen aus Polylactid als Ersatz von Kirschner-Drähten aufgrund der im Vergleich zu Polydioxanon-Stiften höheren Biegesteifigkeit und Scherfestigkeit ⁽¹⁵⁷⁾.

Daß biodegradierbare Materialien nach anderen Kriterien ausgewählt werden müssen als die gängigen, nicht biodegradierbaren Materialien, zeigte eine Studie von Andreas Weiler ⁽²²⁷⁾. Weiler versorgte im Tierexperiment

osteocondrale Frakturen mit Stiften vom Typ Polypin (Poly-L-Lactid/Poly-D,L-Lactid (PLA)) mit einer Länge von 35 mm und einem Durchmesser von 2 mm, sowie vom Typ Biofix (Polyglycolid (PGA)) mit einer Länge von 25 mm und einem Durchmesser von 2 mm. Als Komplikationen ergaben sich Flaknekrose/Teilnekrose bzw. Flakeluxation/Teilluxation. In der PGA-Gruppe kam es in 66,7%, in der PLA-Gruppe in 63,6% der Fälle zu einem glatten Einheilen des Flakes. Da in Studien, in denen PDS-Stifte (Ethipin) mit einem Durchmesser von 1 - 1,5 mm Verwendung fanden, die Erfolgsrate höher war, obschon die PDS-Stifte eine geringere mechanische Festigkeit aufwiesen, kam Weiler zu dem Schluß, daß insbesondere PGA-Implantate aufgrund einer im Knochen auftretenden Fremdgewebsreaktion nicht die Eignung zum osteosynthetischen Einsatz besitzen, die aufgrund der bei Verwendung als Nahtmaterial im Weichteilgewebe gezeigten Biokompatibilität zu erwarten gewesen wäre.

Steinmann nennt eine Komplikationsrate von 13 % bei Verwendung von PGA, hervorgerufen durch abakterielle Wundheilungsstörungen und Sekretionen ⁽²⁰²⁾. Da PGA rasch durch Hydrolyse abgebaut wird, ist es nicht zur Versorgung von Frakturen geeignet, die eine lange Ausheilzeit benötigen. Jedoch berichtet Partio über gute Erfahrungen bei der Versorgung von Ellenbogen- und Patellafrakturen, bei denen eine postoperative Ruhigstellung bis zu 6 Wochen gewährleistet war ⁽¹⁴⁷⁾. Daß die Materialeigenschaften durch Materialkombination verbessert werden kann, zeigt eine Publikation von Rokkanen et al. Hier wurden Polylactid-Polyglycolid-Copolymer-Stifte zur Versorgung von Knöchelfrakturen verwendet mit erfolgreichem Ergebnis ⁽¹⁶⁷⁾. Gerlach ^(56,167) und Bos et al. ⁽¹⁷⁾ verwendeten Schrauben und Platten aus Poly-L-Lactid, um Jochbeinfrakturen am lateralen Orbitarand zu stabilisieren. Gerlach berichtete zudem über ein gutes Ergebnis bei der Versorgung von Unterkieferosteotomien bei 12 Beagles mit Schrauben und Platten aus Polylactid ⁽⁵⁵⁾.

Polylactid-Implantate wurden in einer von Gourlay et al. publizierten Untersuchung als biokompatibel erachtet ⁽⁵⁷⁾.

2. LITERATURVERZEICHNIS

1. Die Verriegelungsnagelung, 3. Internationales Symposium 2-3 April 1982, Frankfurt/Main
Hefte Unfallheilkunde 161: 1-190 (1983)
2. Akeson et al.: Quantitative Histological Evaluation of Early Fracture Healing of Cortical Bones Immobilized by Stainless Steel and Composite Plates
Calcif Tiss Res 19: 27-37 (1975)
3. Albrecht HU, Bamert P: Die Klavikulafraktur: Therapie und Komplikationen
Helv Chir Acta 48: 571-583 (1981)
4. Allgöwer M: Die Behandlung der Tibiaschaftfraktur im Wandel der Zeit, in 45. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallheilkunde e.V.
Springer Berlin 417-421 (1981)
5. Anschütz W, Portwich F: Über die Behandlung der medialen Schenkelhalsfraktur
Zbl. Chir. 52: 887-891 (1925)
6. Aufmkolk M, Neudeck F, Voggenreiter G, Schneider K, Obertacke U, Schmit-Neuerburg KP: Einfluß der primären Oberschenkelplattenosteosynthese auf den Verlauf polytraumatisierter Patienten mit oder ohne Thoraxtrauma
Unfallchirurg 101: 433-439 (1998)
7. Baumgartl F: Spezielle Chirurgie für die Praxis
Thieme Stuttgart (1976)
8. Becker D: Erhaltungsoperation bei Radiusköpfchenfraktur mittels Pinnung mit dem resorbierbaren Material Biofix
Handchirurgie 20: 157-159 (1988)
9. Black J et al.: Orthopaedic Biomaterials in Research and Practice
Churchill-Livingstone New York-Edinburgh-London-Melbourne 292-302 (1988)
10. Blum J, Rommens PM: Unaufgebohrte Humerusnagelung
Hefte zur Zeitschrift "Der Unfallchirurg", Springer-Verlag Berlin 279 (2000)
11. Boehme D, Curtis RJ, DeHaan JT, Kay SP, Young DC, Rockwood jr.CA: Non-union of fractures of the mid-shaft of the clavicle
The journal of bone and joint surgery A 73: 1219-1226 (1991)

12. Böhler J: Die Schenkelhalsnagelungen und -verschraubungen
Unfallmed. Tagungen der Landesverbände der gewerbl. BG Heft
39: 85 (1979)
13. Böhler L: Gegen die operative Behandlung von frischen
Oberarmschaftbrüchen
Langenbecks Arch Klein Chir 308: 465-475 (1964)
14. Bone LB, Mc Namara K, Shine B, Border J: Mortality in multiple
trauma patients with fractures
J Trauma 37: 262 (1994)
15. Bonnaire F: Neue Aspekte zur Biomechanik und Osteosynthese von
Schenkelhalsfrakturen. Postoperative Hüftkopfperfusion,
Hämarthros, Knochenqualität und Osteosynthesestabilität
Hefte zur Unfallchirurgie 78: (2000)
16. Bonnaire F, Götschin U, Kuner EH: Früh- und Spätergebnisse nach
200 DHS-Osteosynthesen zur Versorgung pertrochanterer
Femurfrakturen
Unfallchirurg 95: 246-253 (1992)
17. Bos RM, Boering G, Rozema F, Leenslag J: Resorbable Poly(L-
lactide) Plates and Screws for the Fixation of Zygomatic Fractures
J Oral Maxillofac Surg 45: 751-753 (1987)
18. Bos RRM: Poly(L.lactide)Osteosynthesis, Development of
Bioresorbable Bone Plates and Screws
Thesis Groningen (1989)
19. Bradley et al.: Effects of Flexural Rigidity of Plates on Bone Healing
The Journal of Bone and Joint Surgery 61A: 866-872 (1979)
20. Breitner B: Chirurgische Kompensationslehre, in: Hertel P,
Traumatologie, Band X, 2. Auflage
Urban & Schwarzenberg München 3-11 (1991)
21. Brown SA, Simpson JP: Crevice and fretting corrosion of stainless-
steel plates and screws
Journal of Biomedical Materials Research 15: 867-878 (1981)
22. Brug E, Westphal T, Schägers G: Differenzierte Behandlung der
Humerusdiaphysenfraktur
Unfallchirurg 97: 633-638 (1997)
23. Bunker TD: Geschichte der Verriegelungsnagelung, Trends in der
Frakturbehandlung
Eichhorn-Press-Verlag 147-156 (1992)
24. Burri C, Rüter A: Behandlung der distalen intraartikulären
Femurtrümmerfraktur mit der Kondylenabstützplatte.

- Kongreßbericht der 20. Tagung der österr. Gesellschaft f.
Chirurgie, Innsbruck, 14.-16.07.1979
Demeter Gräfelfing (1979)
25. Claudi BF, Oedekoven G: Biological osteosynthesis
Chirurg 62(5): 367-377 (1991)
 26. Corradi M, Petriccioli D, Panno B, Marengi P: Seidel locked nailing
for treatment of unstable fractures and nonunion of the humerus
Chir. Organi. Mov. LXXXI: 189-196 (1996)
 27. De Palma AF: Communitated fractures of the distal end of the radius
treated by ulnar pinning
J Bone Joint Surg (Am) 34: 651-662 (1952)
 28. Diehl K, Mittelmeier H: Biomechanische Untersuchungen zur
Erklärung der Spongiosierung bei der Plattenosteosynthese
Z.Orthop. 112: 235-243 (1974)
 29. Dumbach J: Zugschraubenosteosynthese nach Ramusosteotomie
mit resorbierbaren Osteosyntheseschrauben aus Polydioxanon
(PDS) - Erste Ergebnisse
DtGesichtsChirsch Z Mund Kiefer 8: 145-148 (1984)
 30. Dumont C, Fuchs M, Folwaczny EK, Heuermann C, Stuermer KM:
Ergebnisse der palmaren Plattenosteosynthese bei instabilen
distalen Radiusfrakturen
Der Chirurg 74 (9): 827-833 (2003)
 31. Eberle H: Claviculafrakturen: Klinik und Behandlung der frischen
Fraktur
Hefte Unfallheilkd. 114: 165-175 (1973)
 32. Echtermeyer V, Zwipp H, Oestern HJ: Fehler und Gefahren in der
Behandlung der Frakturen und Pseudarthrosen des Schlüsselbeins
Langenbecks Arch Chir 364: 351-354 (1984)
 33. Effenberger T: Claviculafrakturen: Behandlung,
Nachuntersuchungsergebnisse
Chirurg 52: 121-124 (1981)
 34. Eitenmüller J, Gerlach KL, Schmickal T, Krause G: Erste
tierexperimentelle Erfahrungen bei der Verwendung von Platten
und Schrauben aus vollständig resorbierbarem Polylactid zur
Stabilisierung des osteotomierten Radius am Beagle
Hefte Unfallheilkd. 181: 303-308 (1986)
 35. Eitenmüller J, Gerlach KL, Schmickal T, Muhr G: Semiregide
Plattenosteosynthesen unter Verwendung absorbierbarer Polymere
als temporäre Implantate
Chirurg 58: 759-763 (1987)

36. Eitenmüller J, Gerlach KL, Schmickal T, Muhr G: Erste Erfahrungen in der Verwendung von Platten und Schrauben aus Polylactid-L zur Behandlung von Sprunggelenksfrakturen
Unfallheilkunde 200: 667 (1988)
37. Ekeland A et al.: Interlocking intramedullary nailing in the treatment of tibial fractures. A report of 45 cases
Clin Orthop 231: 205-215 (1988)
38. Ender HG: Fixierung trochanterer Frakturen mit elastischen Kondylennägeln
Chir. Praxis 18: 81 (1974)
39. Ender J: Der frische Schenkelhalsbruch
Hefte Unfallheilkunde 97: 3 (1968)
40. Ender J, Krotschek H, Jahna H: Behandlung und Behandlungsergebnisse von 1130 frischen geschlossenen Unterschenkelschaftbrüchen
Hefte Unfallheilkunde 54: 14-92 (1957)
41. Eskola A, Vainionpää S, Pätäilä H, Rokkanen P: Outcome of operative treatment in fresh lateral clavicular fractures
Ann Chir Gyn 76: 167-169 (1987)
42. Everke H, Kinj K: Ergebnisse der konservativen und operativen Behandlung der Claviculafrakturen
Chirurg 40 (3): 129-132 (1969)
43. Ewers R, Förster H: Resorbierbare Osteosynthesematerialien - Eine tierexperimentelle Studie -
Dtsch Z Mund Kiefer GesichtsChir 9: 196-201 (1985)
44. Fjalestad T, Strømsøe K, Blücher J, Tennøe B: Fractures in the proximal humerus: functional outcome and evaluation of 70 patients treated in hospital
Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery 125 (5): 310-316 (2005)
45. Frigg R: Locking Compression Plate (LCP). An osteosynthesis plate based on the Dynamic Compression Plate and the Point Contact Fixateur (PC-Fix)
Injury 32: 63-66 (2001)
46. Fuchs S, Jürgens Ch, Schulz AP, Wenzl ME, Wolter D: Rolle der Winkelstabilität bei der intramedullären Stabilisierung
Trauma Berufskrankh 7: 83-88 (2005)
47. Garden RS: Low-angle Fixation in Fractures of the Femoral Neck
J.Bone Joint Surg. (Br.) 43: 647 (1961)

48. Garden RS: The Structure and Function of the Proximal End of the Femur
J. Bone Joint Surg. 43B: 576-589 (1961)
49. Garlipp M: Ergebnisse der operativen Behandlung der Luxation des Akromioklavikulargelenkes
Zentralbl. Chir. 107: 530-532 (1982)
50. Gautier E, Ganz R: Die biologische Plattenosteosynthese
Zentralbl Chir 119: 564-572 (1994)
51. Gautier E, Perren SM: Die "Limited Contact Dynamic Compression Plate" (LC-DCP) - biomechanische Forschung als Grundlage des neuen Plattendesigns
Orthopäde 21: 11-23 (1992)
52. Gautier E et al: Porosity and remodelling of planted bone after internal fixation: Result of stress shielding or vascular damage
Biomaterials and Biomechanics 1983 Amsterdam (1984)
53. Gautier E et al.: Knochenumbau nach Verplattung: Biologische oder mechanische Ursache?
Hefte Unfallheilkd. 165: 13-15 (1983)
54. Gay B, Bucher H: Tierexperimentelle Untersuchungen zur Anwendung von absorbierbaren Osteosyntheseschrauben aus Polydioxanon
Unf. Chirurg 88: 126-133 (1985)
55. Gerlach KL: Tierexperimentelle Untersuchungen zur Anwendung biologisch abbaubarer Polymere in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Habilitationsschrift Köln 1986 (1986)
56. Gerlach KL: Absorbierbare Polymere in der Mund- und Kieferchirurgie
Zahnärztliche Mitteilungen 78: 1020-1024 (1988)
57. Gourlay S, Rice R, Hegyeli A, Wade C, Dillon J, Jaffe H, Kulkarni R: Biocompatibility Testing of Polymers: In vivo Implantation Studies
Journal of Biomedical Material Research 12: 219-232 (1978)
58. Grosse A: Handbuch der Verriegelungsnagelung bei Schaftbrüchen von Femur und Tibia
Centre de Traumatologie et d'Orthopedie de la C.R.A.M. Strasbourg (1985)
59. Gunst MA, Suter C, Rahn BA: Die Knochendurchblutung nach Plattenosteosynthese
Helv.Chir.Acta 46: 171-175 (1979)

60. Haas N, Gotzen L, Otte D: Unterschenkelschaftfrakturen, anatomische, biomechanische und pathophysiologische Aspekte Orthopädie 13 (4): 250-255 (1984)
61. Hansen M, Blum J, Voltmer W, Mehler D, Rommens PM: Der Einfluss des Designs auf die klinische und biomechanische Leistungsfähigkeit eines neuen intramedullären Nagels Akt Traumatologie 33: 69-75 (2003)
62. Hansis M: Anerkannte, heute gültige Indikation und Prinzipien der konventionellen Plattenosteosynthesen bei Frakturen der langen Röhrenknochen OP-Journal 13: 264-267 (1997)
63. Hansis ML: Aktuelle Entwicklungen in der Unfallchirurgie Dt. Ärzteblatt 97 Heft 20: A2038-2042 (2000)
64. Hansmann H: Eine neue Methode der Fixierung der Fragmente bei complicirten Fracturen Verh Dtsch Chir 15: 134-137 (1886)
65. Hegelmeier C, von Aprath B: Die Plattenosteosynthese am diaphysären Oberarmschaft, Indikation - Risiken - Ergebnisse Aktuel. Traumatol. 23: 36-42 (1993)
66. Heim D, Regazzoni P, Tsakiris DA, Aebi T, Schlegel U, Marbet GA, Perren SM: Intramedullary nailing and pulmonary embolism. Does unreamed nailing prevent embolization? An in vivo study in rabbits J Trauma 38: 899-906 (1995)
67. Heim D, Schlegel U, Perren SM: Das intramedulläre Druckverhalten bei aufgebohrter und unaufgebohrter Marknagelung an Femur und Tibia - eine in vitro Studie an intakten menschlichen Knochen 24 (3): 56-63 (1994)
68. Hellmich A, Sievers U: Die operative Versorgung der Schulterreckgelenksprengung mit transkutaner Kirschnerdrahtfixation. Ergebnisse der Nachuntersuchungen an 45 Patienten Aktuel. Traumatol. 18: 9-13 (1988)
69. Hempel D: Differentielle operative Behandlung der Frakturen im Schenkelhals- und Trochanterbereich Brun's Beiträge Klein. Chir. 217: 523-525 (1969)
70. Hempel D: Die Marknagelung frischer Frakturen Chirurg 44: 539-541 (1973)
71. Hessmann M, Gotzen L, Kirchner R, Gehling H: Therapie und Ergebnisse bei lateralen Klavikulafrakturen Unfallchirurg 100: 17-23 (1997)

72. Hierholzer G, Hax PM, Christian R: Klavikulapseudarthrosen
Hefte Unfallheilkd 170: 11-22 (1983)
73. Hierholzer S, Hierholzer G, Böhm E: Histomorphologische
Untersuchungen zur Metallsensibilität nach Osteosynthesen
Hefte Unfallheilkd 165: 113-115 (1983)
74. Hoffmann R, Krettek C, Haas N, Tscherne H: Die distale
Radiusfraktur. Frakturstabilisierung mit biodegradiblen
Osteosynthese-Stiften (Biofix)
Unf. Chirurg 92: 430-434 (1989)
75. Holm CL: Management of humeral shaft fractures
Clin Orthop 71: 132-139 (1970)
76. Höntzsch D: Neue Entwicklungen in der Marknageltechnik
Trauma Berufskrankh 7: 78-82 (2005)
77. Höntzsch D, Krackhardt T, Weller S: Die eingeschobene
Plattenosteosynthese
OP-Journal 13: 256-261 (1997)
78. Höntzsch D, Weller S, Perren SM: A new general orthopedic
universal intramedullary nail for the tibia. Clinical development and
experiences
Aktuelle Traumatol 19(6): 225-237 (1989)
79. Höntzsch D, Weller S, Weise K: Die Marknagelung des Femurs:
eine Standortbestimmung
OP-Journal 16: 164-168 (2000)
80. Hyrtl J: Handbuch der topographischen Anatomie
Braunmüller Wien (1856)
81. Jäger M, Breitner S: Therapiebezogene Klassifikation der lateralen
Claviculafraktur
Unfallheilkd. 87: 467-473 (1984)
82. Jahna H: Die konservative Behandlung des geschlossenen
Unterschenkelbruchs
Hefte Unfallheilkunde 119: 35-41 (1974)
83. Jahna H: Die konservative Behandlung des frischen geschlossenen
Unterschenkelbruchs
Unfallheilkunde 80: 287-298 (1977)
84. Jahna H, Lenz H, Tipold E: Nachuntersuchungsergebnisse von 122
geschlossenen Unterschenkeldrehbrüchen mit Drehkeilen bei
konservativer Behandlung
Hefte Unfallheilkunde 119: 44-49 (1974)

85. Jakob RP: Die Distraction instabiler Radiustrümmerfrakturen mit einem Fixateur externe - ein neuer Behandlungsweg
Z Unfallmed Berufskr 73(3): 115-120 (1980)
86. Jensenius H: Osteosynthesis of Medial Fractures of Neck. Followup Study with Special Reference to Capital Necrosis
Acta Chir. Scand. 111: 322-332 (1956)
87. Jones DA et al: Cobalt Toxicity after McKee Hip Arthroplasty
J.Bone J.Surg. Br 57: 289 (1975)
88. Jostkleigrewe F, Ludolph E: Die Beurteilung des röntgenologischen Verlaufes nach Osteosynthesen
Chir.Praxis 36: 243-258 (1986)
89. Karunakar MA, Frankenburg EP, Le TT, Hall J: The thermal effects of intramedullary reaming
J Orthop Trauma 18 (10): 674-679 (2004)
90. Karwasz RR, Kutzner M, Kramme WG: Plexus-brachialis-Spätläsion nach Claviculafraktur
Unfallchirurg 91: 45-47 (1988)
91. Kayser M, Muhr G, op den Winkel R, Ekkernkamp A: Funktionelle Behandlung der Humerusschaftfraktur nach Sarmiento: Ergebnisse nach 3-jähriger Erfahrung
Unfallchirurg 89: 253-258 (1986)
92. Keller HW, Rehm KE: Die Versorgung der kompletten Schulterergelenksprengung ohne metallische Implantate
Unfallchirurg 94: 511-513 (1994)
93. Kelsch G, Deffner P, Ullrich C: Die Humerusverriegelung nach Seidel
Unfallchirurg 100: 111-118 (1997)
94. Kessler SB, Hallfeldt KKJ, Perren SM, Schweiberer L: The effects of reaming and intramedullary nailing on fracture healing
Clinical Orthopedics 212: 18-25 (1986)
95. Klemm K, Schellmann WD: Dynamische und statische Verriegelung des Marknagels
Unfallheilkunde 75: 568-571 (1972)
96. Klemm K, Schellmann WD: Die Verriegelungsnagelung
Aktuelle Traumatologie 6: 377-380 (1976)
97. Klestil T: Konservative und operative Therapie traumatischer Oberarmschaftbrüche
Chirurg 68: 1132-1136 (1997)

98. Köbler H, Schipka A: Die Refraktur von Schaftbrüchen
Mschr.Unfallheilkd. 75: 302-311 (1972)
99. Köstler W, Strohm P, Südkamp NP: Entwicklung und aktueller
Stand winkelstabiler Plattensysteme
Trauma Berufskrankh 7(1): 5-9 (2005)
100. Krettek C, Schandelmaier P, Rudolf J, et al: Aktueller Stand der
operativen Technik für die unaufgebohrte Nagelung von
Tibiaschaftfrakturen mit dem UTN
Unfallchirurg 97: 577-599 (1994)
101. Krettek C et al.: Intramedullary nailing of open fractures
Orthopade 25(3): 223-233 (1996)
102. Krimmer H, Pessenlehner C, Hasselbacher K, Meier M, Roth F,
Meier R: Palmare winkelstabile Plattenosteosynthese der instabilen
distalen Radiusfraktur
Unfallchirurg 107: 460-467 (2004)
103. Kroge von H, Henning FF, Brandes M, Langendorff HU: Der
Gamma-Nagel in der Versorgung subtrochanterer Femurfrakturen -
eine retrospektive Analyse -, in: Beck H, Vecsei V, Wagner W
(Hrsg.), Osteosynthese International 1993, Kongreßband der
Jahrestagung des Gerhard-Küntschers-Kreises
Druckhaus Mayer Verlag Erlangen 250-252 (1993)
104. Kronenthal R: Biodegradable Polymers in Medicine and Surgery.
In: Kronenthal R, Oser Z, Martin E, Polymers in Medicine and
Surgery
Plenum Press New York 119-137 (1975)
105. Kulkarni RK, Moore EG, Hegyeli AF, Leonard F: Biodegradable
poly(lactid acid) polymers
J.Biomed.Mater.Res. 5: 169-181 (1971)
106. Kulkarni RK, Pani KC, Neumann C, Leonard F: Polylactid acid for
surgical implants
Arch.Surg. 93: 839-842 (1966)
107. Kuner EH: Über die Marknagelung der Tibiaschaftfraktur
Orthopädie 13 (4): 266-270 (1984)
108. Kuner EH, Schlickewei W, Mydla F: Operative Therapie der
Claviculafrakturen, Indikation, Technik, Ergebnisse
Hefte Unfallheilkd. 160: 76-83 (1982)
109. Kuner EH et al.: Tibial intramedullary nailing without open drilling
Unfallchirurgie 19(5): 278-283 (1993)

110. Küntscher G: Die Marknagelung des Trümmerbruchs
Langenbecks Archiv Klinische Chirurgie 322: 1063-1069 (1968)
111. Küppermann W: Osteosynthese mit konservierten Knochen
Unfallheilkunde 60/61: 74-78 (1958)
112. Kutscha-Lissberg F, Schildhauer TA, Kollig E, Muhr G: Die Osteosynthese der medialen Schenkelhalsfraktur
Chirurg 72: 1253-1265 (2001)
113. Lambotte A: Sur l'osteosynthèse
Belg Med 231: (1908)
114. Lederer M, Tepic S, Perren SM: Experimentelle Frakturbehandlung mit dem Point Contact Fixateur (PC-Fix) - eine in vivo Studie an der Schafstibia. In: Rehm KE, Hefte zu "Der Unfallchirurg"
Springer 353-354 (1996)
115. Lehmann L, Kaufner HK, Dietrich B: Zur Problematik der Sekundärfrakturen nach Entfernung des Osteosynthesematerials
Unfallheilkd. 80: 449-455 (1977)
116. Letsch R, Schmit-Neuerburg KP, Schax M: Zur Wahl des Operationsverfahrens am distalen Radius - Bohrdraht versus Platte
Akt Traumatol 17: 113-119 (1987)
117. Leung KS, Shen WY, So WS, Mui LT, Grosse A: Interlocking intramedullary nailing for supracondylar and intercondylar fractures of the distal part of the femur
J Bone Joint Surg (Am) 73 (3): 332-340 (1991)
118. Leung KS, So WS, Shen WY, et al: Gamma nails and dynamic hip screws for peritrochanteric fractures - a randomised prospective study in elderly patients
J Bone Joint Surg (Br) 74: 345-351 (1992)
119. Liechti R: Frakturen der Clavicula und der Scapula, in: Weber B.G., Brunner Ch, Freuler F, Die Frakturbehandlung bei Kindern und Jugendlichen
Springer Berlin/Heidelberg/New York (1979)
120. Lill H, Hepp P, Rose T, König K, Josten C: Die winkelstabile Plattenosteosynthese (LPHP) proximaler Humerusfrakturen über den kleinen anteriolateralen Delta-Splitting-Zugang: Technik und erste Ergebnisse
Zentralbl Chir 129: 43-48 (2004)
121. Loitz D, Könnecker H, Illgner A, Reilmann H: Retrograde Marknagelung von Humerusfrakturen mit neuen Implantaten
Unfallchirurg 101: 543-550 (1998)

122. Maatz R et al: Die Marknagelung und andere intramedulläre Osteosynthesen
Schattauer Verlag (1983)
123. Markmiller M, Rüter A: Unaufgebohrter Tibiamarknagel (UTN)
Trauma Berufskrankh 3(2): 135-137 (2001)
124. Matschke S, Glatzel U, Grützner A, Wentzensen A: Distale Unterarmfrakturen
Trauma und Berufskrankheit 6 (3): 204-212 (2004)
125. Matschke S, Kruhl C, Wentzensen A: Erste Erfahrungen mit winkelstabilen Implantaten - distale Radiusfraktur
Trauma und Berufskrankheit 6 (1): 19-26 (2004)
126. Matter P, Brennwald J, Perren SM: Biologische Reaktion des Knochens auf Osteosyntheseplatten
Helv.Chir.Acta Suppl. 12: 1-44 (1974)
127. Meeder PJ, Dannöhl Ch: Verletzung des Schulterreckgelenkes
Aktuel. Traumatol. 18: 24-34 (1988)
128. Meeder PJ, Wentzensen A, Weise K: Die operative Behandlung der frischen acromio-claviculären Luxation (Tossy III) durch Naht der Ligamente und Kirschnerdrahtzuggurtung
Langenbecks Arch. Chir. 350: 169-173 (1980)
129. Memoli et al.: Malignant Neoplasms Associated with Orthopaedic Implant Materials in Rats
Journal of Orthopaedic Research 4: 346-355 (1986)
130. Menck J, Bertram C, Lierse W: Sectorial angioarchitecture of the human tibia
Acta Anatomica 143: 67-73 (1992)
131. Merrit K, Brown SA: Biological effects of corrosion products from metals. In: Fraker A, Griffin C, eds. Corrosion and Degradation of Implanted Materials: Second Symposium. ASTM STP 859. Philadelphia: American Society for Testing and Materials 195-206 (1985)
132. Meves H: Stabile und funktionsgerechte Osteosynthese von Klavikulaschaftfrakturen und -pseudarthrosen mit einer neuen Kompressionsplatte
Acta chirurgica austriaca Acta chirurgica austriaca 4: 78-80 (1973)
133. Meyer HJ, Schilling R: Erfahrungen mit der Y-Nagelung bei Brüchen des Trochanterbereiches
Medsche Unfallheilkunde 71: 445-446 (1968)

134. Mockwitz J: Operative oder konservative Behandlung der Schulterreckgelenksprengung
Hefte Unfallheilkd. 126: 137-140 (1975)
135. Modlin J: Double skeletal traction in battle fractures of the lower femur
Bull. U.S. Army Med. Dept. 4: 119-120 (1945)
136. Moschinski D, Baumann G, Linke R: Osteosynthese der lateralen Klavikulafraktur mit resorbierbarem Implantat
Aktuelle Chirurgie 27: 33-35 (1992)
137. Müller CA, Dietrich M, Morakis P, Pfister U: Klinische Ergebnisse der primären Marknagelosteosynthese mit dem unaufgebohrten AO/ASIF Tibiamarknagel von offenen Tibiaschaftfrakturen
Unfallchirurg 101: 830-837 (1998)
138. Murray G: A method of fixation for fracture of the clavicle
J Bone Joint Surg 12: 616-620 (1940)
139. Nast-Kolb D, Knoefel WT, Schweiberer L: Die Behandlung der Oberarmschaftfraktur. Ergebnisse einer prospektiven AO-Sammelstudie
Unfallchirurg 94: 447-454 (1991)
140. Neer CS: Fractures of the distal third of the clavicle
Clin Orthop 58: 43-50 (1968)
141. Neller C: Die isolierte Fraktur des Femurcondylus und ihre operative Behandlung
Chirurg 5: 871-877 (1933)
142. Nordqvist A, Petersson C: The incidence of fractures of the clavicle
Clin Orthop 300: 127-132 (1994)
143. Nork SE, Schwartz AK, Agel J, Holt SK, Schrick JL, Winquist RA: Intramedullary nailing of distal metaphyseal tibial fractures
J Bone Joint Surg (Am) 87 (6): 1213-1221 (2005)
144. Oberthaler G, Kröpfl A, Berger U, Karlbauer A: Retrograde Femurnagelung: Indikation, Operationstechnik und Ergebnisse
Unfallchirurgie 24 (4): 162-169 (1998)
145. Olerud S, Karlstrom G: The spectrum of intramedullary nailing of the tibia
Clin Orthop 212: 101-112 (1986)
146. Olerud S et al: Intramedullary reaming and nailing: ist effects on cortical bone vascularization
Orthopedics 9 (9): 1204-1208 (1986)

147. Partio EK et al: The Treatment of cancellous bone fractures with biodegradable screws. Clinical study, Biomaterials degradation (Barbosa M.A.)
Elsevier Science Publishers B.V. 391 (1991)
148. Pauwels F: Der Schenkelhalsbruch. Ein mechanisches Problem
Beilagenheft z. Orthop. Chirurgie 63: (1935)
149. Perren SM: Wissenschaftliche Grundlagen der Marknagelung mit spezieller Berücksichtigung der Stabilität
OP-Journal 15: 31-38 (1999)
150. Pfister U: Current status of intramedullary nailing osteosynthesis
Aktuelle Traumatol 18(1): 40-45 (1988)
151. Pohl E: Verbindungsvorrichtung für gelenknahe Knochenbrüche. Patentschrift Nr. 918531 Deutsches Patentamt. Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 7.12.1951.
Beanspruchte Priorität für die V. St. v. Amerika vom 4.12.1952
152. Radford PJ, Needoff M, Webb JK: Prospective randomised comparison of the dynamic hip screw and the gamma locking nail
J Bone Joint Surg (Br) 75: 789-793 (1993)
153. Rand JA et al: A comparison of the effect of open intramedullary nailing and compression plate fixation on fracture site blood flow and fracture union
Journal of Bone Joint Surgery (Am) 63 A (3): 427-442 (1981)
154. Regazzoni P, Rüedi Th, Winqvist R, Allgöwer M: The dynamic hip screw implants system
Springer Berlin 1-50 (1984)
155. Regel G, Lobenhoffer P, Lehmann U, Pape HC, Pohlemann T, Tscherne H: Ergebnisse in der Behandlung Polytraumatisierter. Eine vergleichende Analyse von 3406 Fällen zwischen 1972 und 1991
Unfallchirurg 7: 350-362 (1993)
156. Regel G, Tscherne H: Pulmonale Komplikationen nach intramedullärer Stabilisierung langer Röhrenknochen. Einfluss von Operationsverfahren, -zeitpunkt, Verletzungsmuster
Orthopäde 24: 164-172 (1995)
157. Rehm KE: Entwicklungsstand und klinische Bedeutung von resorbierbaren Osteosynthesematerialien
Hefte zur Unfallheilkunde 200: 663 (1988)

158. Rehm KE, Andermahr J, Jubel A: Die intramedulläre Osteosynthese der Klavikula mit einem elastischen Titannagel
Operat Orthop Traumatol 4: 365-379 (2004)
159. Rehm KE, Bruns C: Wo liegt die Grenze der Marknagelung?, in 59. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. Springer Berlin 129-133 (1995)
160. Rehm KE, Henneking K, Schultheis KH, Schumacher F: Neue Technik der Bandplastik am oberen Sprunggelenk
Chirurgisches Forum 1983 f. experim. U. klinische Forschung (1983)
161. Rehm KE, Schultheis KH: Bandersatz mit Polydioxanen (PDS)
Unfallchirurgie 11: 264-273 (1985)
162. Rehn J: Behandlungsergebnisse typischer Radiusfrakturen
Chirurg 36: 206-211 (1965)
163. Remiger AR et al.: Die mechanische Testung des Pinless-Zangenfixateurs, in Biomechanik des menschlichen Bewegungsapparates
Springer 286-296 (1997)
164. Rikli D, Regazzoni P: Distale Radiusfrakturen
Schweiz Med Wochenschr 129: 776-785 (1999)
165. Rikli DA, Babst R: Neue Prinzipien der operativen Behandlung von distalen Radiusfrakturen: winkelstabile Implantate
Ther Umsch 60: 745-750 (2003)
166. Riska EB, von Bonsdorff H, Hakkinen S: Prevention of fat embolism by early internal fixation of fractures in patients with multiple injuries
Injury 8: 110-116 (1976)
167. Rokkanen P, Vainionää S, Törmälä P, Kilpikari J, Böstman O, Vihtonen K, Laiho J, Tamminmäkiki M: Biodegradable Implants in Fracture Fixation: Early Results of Treatment of Fractures of the Ankle
Lancet 1,8443: 1422-1424 (1985)
168. Rommens P, Broos P, Theunis P, Willemen P, Gruwez J.A.: The operative treatment of tibial shaft fractures: a review of 277 cases
Acta Chirurgica Belgica 85 (4): 268-273 (1985)
169. Rommens PM, Vansteenkiste F, Stappaerts KH, Broos PL: Indikationen, Gefahren und Ergebnisse der operativen Behandlung von Oberarmfrakturen
Unfallchirurg 92: 565-570 (1989)

170. Ruch DS, Weiland AJ, Wolfe SW, Geissler WB, Cohen MS, Jupiter JB: Current concepts in the treatment of distal radial fractures
Instr Course Lect 53: 389-401 (2004)
171. Ruchholtz D, Nast-Kolb D, Schweiberer L: Intramedullary nailing of lower leg fractures with minimal soft tissue injuries
Orthopade 25(3): 197-206 (1996)
172. Rüedi T, Kolbow H, Allgöwer M: Experiences with the dynamic compression plate (DCP) in 418 fresh fractures of the tibial shaft
Arch Orthop Unfallchir 82(3): 247-256 (1975)
173. Ruf W, Pauly E: Zur Problematik der Humerusverriegelungsnagelung
Unfallchirurg 96: 323-328 (1993)
174. Russ GM: Osteosynthese der trochanteren Femurfrakturen
Chir. Praxis 16: 615-617 (1972)
175. Rüter A: Gelenkplatten zur Versorgung acromialer und sternalen Clavicula-Luxationen
Hefte Unfallheilkd. 165: 273-274 (1983)
176. Rüter A, Burri C: Claviculafrakturen - Diskussionsbemerkungen und Empfehlungen aller Teilnehmer
Hefte zur Unfallheilkunde 160: 84-86 (1982)
177. Sakhaii M, Groenewold U, Klönz A, Reilmann H: Ergebnisse nach palmarer Plattenosteosynthese mit der winkelstabilen T-Platte bei 100 distalen Radiusfrakturen. Eine prospektive Studie
Der Unfallchirurg 106 (4): 272-280 (2003)
178. Saneik M: Die Behandlung der pertrochanteren Oberschenkelbrüche durch Trochanternagelung
Münch. Med. Wschr. 118: 109-110 (1976)
179. Sarmiento A: A functional below-the-knee brace for tibial fractures, A report on its use in 155 cases
Journal of Bone Joint Surgery (Am) 52: 295-311 (1970)
180. Sarmiento A, Latta L.L.: Closed functional treatment of fractures
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York (1981)
181. Schandelmaier P et al.: Outcome of tibial shaft fractures with severe soft tissue injury treated by unreamed nailing versus external fixation
J Trauma 39(4): 707-711 (1995)
182. Scherer MA, Ascherl R, Lechner F, Blümel G: Routinemäßige Testung auf Metallallergie beim alloarthroplastischen Gelenkersatz?

In: Willert HG, Heuck FHW, Neuere Ergebnisse in der Osteologie
Springer Verlag 652-657 (1989)

183. Schmidtman U, Knopp W, Wolff C, Stürmer KM: Ergebnisse der elastischen Plattenosteosynthese einfacher Femurfrakturen beim Polytrauma
Unfallchirurg 100: 949-956 (1997)
184. Schmit-Neuerburg K.P., Weiß U.H.: Konservative Therapie und Behandlungsergebnisse der Claviculafrakturen
Hefte zur Unfallheilkunde 160: 55-75 (1982)
185. Schneider S: Allgemeine Indikation, Kontraindikation, postoperative Komplikationen und Todesursachen nach hüftgelenksnahen Oberschenkelfrakturen
Akt. Traumatologie 6: 143-145 (1976)
186. Schumpelick W, Jantzen PU: Die stabile Osteosynthese des medialen Schenkelhalsbruches mit der verbundenen Doppelschraube
Chirurg 26: 131-135 (1955)
187. Schuster J: Die Metallose
Chirurg 43: 114-116 (1972)
188. Schütz M, Käab MJ, Haas NP: Die Operation diaphysärer Schafffrakturen des Unterarms mit einem winkelstabilen Platten-Schrauben-System
Operative Orthopädie und Traumatologie 16 (3): 273-287 (2004)
189. Schütz M, Kolbeck S, Spranger A, Arndt-Kolbeck M, Haas NP: Die winkelstabile palmare Plattenosteosynthese bei der dorsal dislozierten distalen Radiusfraktur: Anwendung und erste klinische Erfahrungen
Zentralbl Chir 128: 997-1002 (2003)
190. Schwab E, Höntzsch D, Weise K: Die Versorgung instabiler per- und subtrochantärer Femurfrakturen mit dem proximalen Femurnagel (PFN)
Akt Traumatologie 28: 56-60 (1998)
191. Schwarz N, Leixnering M: Die Misserfolge der Klavikulamarkdrahtung und ihre Ursachen
Akt. Traumatol. 14: 159-163 (1984)
192. Schweiberer L, Betz A, Krueger P, Wilker D: Bilanz der konservativen und operativen Knochenbruchbehandlung der oberen Extremität
Chirurg 54: 226 (1982)

193. Schweiberer L, Poeplau P, Gräber S: Plattenosteosynthese bei Oberarmschaftfrakturen. Sammelstudie der Deutschen Sektion der AO-International
Unfallheilkunde 80: 231-235 (1977)
194. Seifert J, Stengel D, Matthes G, Hinz P, Ekkernkamp A, Ostermann PA: Retrograde fixation of distal femoral fractures: results using a new nail system
J Orthop Trauma 17 (7): 488-495 (2003)
195. Siebenmann RP, Spieler U, Arquint A: Die Rush-Pin-Osteosynthese der Klavikula als Alternative zur konservativen Behandlung
Unfallchirurgie 13 (6): 303-307 (1987)
196. Siebert CH, Heinz BC, Höfler HR, Hansis M: Plattenosteosynthetische Versorgung von Humerusschaftfrakturen
Unfallchirurg 99: 106-111 (1996)
197. Sillo-Seidl G: Ärzte ohne Nobelpreis
Ariston Verlag Genf 117-127 (1978)
198. Smith-Petersen M: Intracapsular Fractures of the Neck of Femur, Treatment by Internal Fixation
Arch. Surg 23: 715-759 (1931)
199. Stahel PF, Infanger M, Bleif IM, Heyde CE, Ertel W: Die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese - Ein neues Konzept zur Versorgung instabiler distaler Radiusfrakturen
Trauma und Berufskrankheit 7 (1): 27-32 (2005)
200. Starke W, Schilling H: Kirschnerdrahtwanderungen nach Osteosynthesen
Akt. Traumatol. 11: 126-129 (1981)
201. Steinhäuser E: Unterkieferrekonstruktion durch intraorale Knochentransplantate, deren Einheilung und Beeinflussung durch die Funktion, Eine tierexperimentelle Studie, Teil 1 und 2
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 78: 213 und 375 (1968)
202. Steinmann R, Gerngroß H, Hartel W: Die Verwendung bioresorbierbarer Implantate (Biofix) in der Chirurgie
Akt. Traumatol. 20: 102-107 (1990)
203. Strecker W, Suger WG, Kinzl L: Local complications of intramedullary nailing
Orthopade 25(3): 274-291 (1996)
204. Stürmer KM: Metaphysäre Trümmerbrüche der unteren Extremität. Indikation zur Plattenosteosynthese, in 59. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.
Springer Berlin 133-142 (1996)

205. Stürmer KM, Dresing K: Schockraummanagement für den Schwerverletzten
Hefte Z Unfallchir 253: 38-66 (1996)
206. Szyskowitz R: Lorenz Böhler
AO Dialoge 15: 16-17 (2002)
207. Tepic S, Perren SM: The biomechanics of the PC-Fix internal fixator
Injury 26: 5-10 (1995)
208. Teubner E: Die Biomechanik des Rundnagels
Chir. Praxis 17: 307-308 (1973)
209. Teubner E: Zur Biomechanik des Marknagels und seiner Verriegelung
Zentralblatt Chirurgie 110 (19): 1169-1178 (1985)
210. Teubner E, Gerstenberger F, Burgert R: Kinematische Betrachtungen des Schultergürtels und deren Konsequenz auf verbreitete Operationsverfahren
Unfallchirurg 94: 471-477 (1991)
211. Thelen E, Rehn J: Acromioclavicularsprengungen - Ergebnisse nach operativer und konservativer Versorgung in 162 Fällen
Unfallheilkd. 79: 417-422 (1976)
212. Thielmann FW, Feller AM: Frakturheilung, ein biologisches oder mechanisches Problem
Unfallheilkd. 174: 57-98 (1985)
213. Thornton L: The Treatment of Trochanteric Fractures of the Femur, Two New Methods
Piedmont Hosp. Bull. 10: 21 (1937)
214. Trapp OM, Beickert R, Bühren V: Proximaler Humerusnagel bei körpernahen Oberarmbrüchen
Trauma und Berufskrankheit 7 (2): 89-96 (2005)
215. Trojan E: Die konservative Behandlung des frischen geschlossenen Unterschenkelschaftbruches nach Lorenz Böhler
Orthopäde 13 (4): 256-261 (1984)
216. Trueta J, Harrison MHM: The Normal Vascular Anatomy of Femoral Head in Adult Man
J. Bone Joint. Surg. 35: 442-461 (1953)
217. Tscherne H: Primäre Behandlung der Oberarmschaftfrakturen
Langenbecks Arch. Chir. 332: 379-388 (1972)
218. Tscherne H: John Border memorial lecture: Trauma care in europe before and after John Border - the evolution in trauma

management at the university of Hannover
J Orthop Trauma 12: 301-306 (1998)

219. Umansky AL: Blade-plate internal fixation for fracture of the distal end of the femur
Bull. Hosp. Joint Dis. 9: 18-21 (1948)
220. Urist MR, Mazet jr R, Bechtol ChO: Senile Osteoporosis as a Disorder Influencing Treatment and Endresults of the Hip, With a Priliminary Report on the Use of Collapite
Am. Surg. 25: 883-891 (1959)
221. Vecsei V, Bayer HW, Beck H: Verriegelungsnagelung. Symposium 3. Februar 1978
Verlag Wilhelm Maudrich Wien, München, Bern (1978)
222. Vecsei V et al.: Borderline indications for locked intramedullary nailing of femur and tibia
Orthopade 25(3): 234-246 (1996)
223. Vidal J, Rabischong P, Bonnel F, Adrey J: Etude biomèchanique du fixateur externe d'Hoffmann dans les fractures de jambe
Montpellier Chir 16: 43 (1970)
224. Voigt C, Lill H: Winkelstabile Plattenosteosynthese proximaler Humerusfrakturen
Trauma und Berufskrankheit 7 (1): 10-14 (2005)
225. Wartenburger A, Wartenburger W: Die operative Behandlung der Schulterreckgelenksprengung - kurz- und mittelfristige Ergebnisse
Beitr. Orthop. Traumatol. 30: 519-528 (1983)
226. Webley M, Kates A, Snaith M.L.: Metal Sensivity in Patients with a Hinge Arthroplasty of the Knee
Ann Rheum Dis 37: 373 (1978)
227. Weiler A: Biodegradierbare Frakturstifte zur Fixierung osteochondraler Fragmente
(1997)
228. Weller S: Begründete Indikation für die Anwendung des Marknagels
Unfallheilkunde 78: 78-83 (1977)
229. Weller S: Internal fixation of fractures by intramedullary nailing. Introduction, historical review and present status
Injury 24(3): 1-6 (1993)
230. Weller S: Die "biologische Osteosynthese". Ein unfallchirurgischer Modetrend oder wichtiger operationstechnischer Aspekt?
Chirurg 66: 53-56 (1995)

231. Wenda K, Ritter G, Degreif J: Zur Genese pulmonaler Komplikationen nach Marknagelung
Unfallchirurg 91: 432-435 (1988)
232. Wessinghage D: Themistocles Gluck, 100 Jahre künstlicher Gelenkersatz
Zeitschrift für Orthopädie 129: 383-388 (1991)
233. Weyand F, Dümmler B: Zur Problematik der hüftgelenksnahen Frakturen beim greisen Menschen
Akt. Traumatologie 6: 139-142 (1976)
234. White EH, Russin LA: Supracondylar fractures of the femur
U.S. Armed Forces Med. J. 4: 1623-1626 (1956)
235. Whitman R: A New Method of Treatment for Fractures of the Neck of the Femur, Together with Remarks on Coxa Vara
Ann. Surg. 36: 746-761 (1902)
236. Wiemer P, Köster G, Felderhoff J, Weber U: Frakturen am distalen Radius: Wandel der therapeutischen Strategien
Orthopäde 28: 846-852 (1999)
237. Wiggins HE: Vertical tractions in open fractures of the femur
U.S. Armed Forces Med. J. 4: 1623-1626 (1953)
238. Willenegger HA, Guggenbühl A: Zur operativen Behandlung bestimmter Fälle von distalen Radiusfrakturen
Helv Chir Acta 26: 81-94 (1959)
239. Willmann HR, Vogel W, Schwilke ED: Die Trochanternagelung nach Küntscher
Zentbl. Chir. 99: 793 (1974)
240. Winker H: Behandlungsergebnisse nach Oberarmschaftfrakturen
Akt Traumatol 23: 36-41 (1993)
241. Winker KH: Winkelstabile Plattensysteme am distalen Radius: Lösungsmöglichkeiten und Probleme
Akt Traumatol 35: 151-154 (2005)
242. Yang XJ, Fei J, Wang ZG, Yu HJ, Sun J: Experimental study and clinical observation of minimum-contact plate in long bone fracture
Chin J Traumatol 8 (2): 105-110 (2005)
243. Zimmermann G, Wagner C, Moghaddam A, Studier-Fischer S, Wentzensen A: Radiusköpfchenfraktur und Ellenbogenluxation
Trauma und Berufskrankheit 6 (4): 297-303 (2004)