Korrekturverfahren bei außergewöhnlichen Fehlstellungen

Posttraumatische Fehlstellungen mit großen Achsfehlstellungen sind aufgrund einer verbesserten Primärversorgung insgesamt selten geworden. Die Schwierigkeit bei sehr großen Fehlstellungen liegt

1. in der Korrektur der knöchernen Fehlstellung an sich und
2. in der Korrektur der Weichteile, die sich der Deformität über einen längeren Zeitraum angepasst haben.

Große Fehlstellungen sind meist bei älteren Patienten mit zusätzlich schlechter Knochenqualität und Durchblutungssituation anzutreffen. Dies erfordert eine weichteilschonende und somit graduelle Korrektur.

Korrekturverfahren sind die akuten und graduellen Techniken sowie die internen, externen und kombinierten Osteosyntheseverfahren. Die akute Korrektur mit interner Osteosynthese hat für den Patienten den höchsten Komfort und die kürzeste Behandlungszeit. Voraussetzung ist eine gute Knochen- und Weichteilsituation. Bei großen Fehlstellungen sind die Weichteilverhältnisse jedoch in der Regel schlecht, und es bedarf einer weichteilschonenden Korrektur und Osteosynthese über einen Fixateur. Der Ringfixateur bietet die Möglichkeit der weichteilschonenden Knochenfixation; sehr große Fehlstellungen können kontinuierlich unter Vollbelastung korrigiert werden. Der Patientenkomfort ist jedoch aufgrund der aufwändigen Fixateurmontage und der langen Behandlungszeit gering.

Im Weiteren werden die einzelnen Korrekturverfahren bei sehr großen Fehlstellungen dargestellt.

Akute Korrektur

Bei Fehlstellungen mit großem Angulationsausmaß führt sie in Abhängigkeit von ihrer Entfernung zur Fehlstellung auf der konvexen Seite der Achsabweichung zu einem Weichteilüberschuss, auf der konkaven Seite zu einer Weichteildehnung [5]. Dies bedingt, dass je nach Richtung der Fehlstellung und der Weichteilsituation unterschiedlich große Korrekturen akut durchgeführt werden können. Eine Valgusfehlstellung des Oberschenkels kann meist problemlos akut korrigiert werden, da es zu einer Weichteilentlastung auf der medialen Seite des Oberschenkels kommt und somit keine Gefahr einer Nerven-Gefäß-Verletzung besteht. Hingegen sind die akuten Korrekturen von Valgus- und Außenrotationsfehlstellungen der proximalen Tibia nur mit gleichzeitiger vollständiger Neurolyse des N. peroneus möglich. Letztere beinhaltet nicht nur die Freilegung des N. peroneus, sondern auch die vollständige Durchtrennung der muskulären Septen der Peronealmuskulatur. In **Tab. 1** sind die günstigen Richtungen für akute Korrekturen der unteren Extremität angegeben.

Plattenosteosynthese

Die akute Korrektur über eine interne Plattenosteosynthese ist bei sehr ausgeprägten Fehlstellungen nur bei guter Weichteilsitu-

ation zu empfehlen. Die gerade oder anatomisch vorgeformte Platte dient dann als Repositions- und Retentionsinstrument. Nach einer schließenden oder neutralen Osteotomie kommt es aufgrund der hohen Weichteilspannung nicht automatisch zu einer Ausrichtung der Fehlstellung. Diese muss gewissermaßen an die Platte repositioniert werden, um eine achsgerechte Korrektur zu erzielen (**Abb. 1**).

Kirschner-Draht-Osteosynthese

Mit ihr können v. a. im Bereich der kleinen Knochen bei Fuß- oder kindlichen Fehlstellungskorrekturen die Korrekturergebnisse nach Osteotomieschluss fixiert werden (**Abb. 2**). Der größte Vorteil bei der Verwendung von Drähten ist die Möglichkeit, diese perkutan mit geringem Weichteiltrauma einbringen und sie nach Konsolidierung der Korrekturosteotomie ambulant entfernen zu können. Eine ausgiebige, denudierende Weichteilpräparation, wie es bei internen Plattenosteosynthesen häufig erforderlich ist, entfällt. Die Kirschner-Draht-Osteosynthese muss jedoch durch einen Gipsverband geschützt werden und ist nicht belastungsfähig.

Nagelkorrektur

Korrekturen über intramedulläre Kraftträger setzen einen intakten Markraum voraus. Um über nur eine Osteotomie korrigieren zu können, muss die Fehlstellung in einem sehr kurzen Knochensegment lokalisiert sein. Bei langbogigen Fehlstellungen

Abb. 2 ▲ Posttraumatische Spitzfußstellung, Akutkorrektur über eine Closing-Wedge-Osteotomie der Fußwurzel mit Kirschner-Draht-Osteosynthese

Abb. 1 ▲ Akute Korrektur einer femoralen Valgusfehlstellung von 30° über eine supramalleoläre Osteotomie mit winkelstabiler Plattenosteosynthese, mechanische Beinachse bei nicht vollständiger Korrektur der Gelenkwinkel vollständig korrigiert

Abb. 3 ▲ Kurzbogige diaphysäre Varusfehlstellung des Femurs, akute Korrektur über eine verkürzende Closing-Wedge-Osteotomie mit Nagelosteosynthese und Antirrotationsplatte

Abb. 4 ▲ Septische Tibiapseudarthrose nach Kriegsverletzung mit hypertrophierter Fibula, Resektion der Pseudarthrose und akute Korrektur der Fehlstellung mit Standard-Ilisarov-Ringfixateur

Abb. 6 ▲ Tibiasegmenttransport über einen Seilzug mit intramedullärer Nagelosteosynthese

Abb. 5 ◀ Femurverlängerung mit intramedullärem Distraktor (ISKD)

sind Etagenosteotomien erforderlich, um eine für den Nagel gerade medulläre Ausrichtung zu erhalten. Diese haben jedoch den Nachteil einer hohen Pseudarthrosenrate, da sowohl die intramedulläre Durchblutung durch den Nagel als auch die periostale Durchblutung durch die Osteotomie kompromittiert werden.

Die Korrektur über einen intramedullären Kraftträger eignet sich insbesondere bei kurzen diaphysären Angulations- und Rotationsfehlstellungen. Durch das Einbringen des Nagels kommt es zu einer selbstständigen Ausrichtung der Knochenachse. Bei metaphysär gelegenen Fehlstellungen ist die Korrektur von Angulations-

fehlstellungen über den richtigen Eintrittspunkt des Nagels zu erreichen. Dieser bereitet jedoch häufig Schwierigkeiten, da der kurze metaphysäre Gelenkanteil mit der Nagelverriegelung nicht immer stabil fixiert werden kann. Wenn ausgeprägte Fehlstellungen aufgrund der Weichteilspannung nicht längenneutral akut korrigiert werden

Tab. 1 Günstige Korrekturrichtungen an der unteren Extremität

Oberschenkel			Unterschenkel		
	+	–		+	–
Proximal	Varus	Valgus	Proximal	Valgus	Varus
	Flexion	Extension		Flexion	Extension
	Iro	Aro		Aro	Iro
Distal	Varus	Valgus	Distal	Varus	Valgus
	Flexion	Extension		Flexion	Extension
	Aro	Iro		Iro	Aro

Iro Innenrotationsfehlstellung, Aro Außenrotationsfehlstellung

Infobox 1: Internetlinks

- Analyse der Deformität: <http://www.spatialcad.com>
- Planung der Korrektur: <http://www.spatialframe.com>

können, bietet sich die Möglichkeit, durch eine Segmentresektion mit Verkürzung und ggf. späterer Verlängerung dennoch eine Akutkorrektur zu erreichen (■ Abb. 3).

Ringfixateur

Er eignet sich bei schlechten Weichteilverhältnissen zur Knochenstabilisierung nach akuter Korrektur über eine Osteotomie oder Resektion einer Fehlstellungspseudarthrose (■ Abb. 4) [3, 4, 8]. Die Osteosynthese mit dem Ringfixateur ist belastungsstabil und ermöglicht den Patienten nach abgeheilten Weichteilverhältnissen eine Vollbelastung. Die Stabilität des Ringsystems ist grundsätzliche Voraussetzung, um eine Knochenheilung nach Korrekturosteotomie erzielen zu können. Dies wird beim Ringfixateur durch die Verwendung von gekreuzten 1,8-mm-Olivendrähten und/oder 6-mm-Knochenschrauben erzielt. Ein regelmäßiges Nachspannen ist unverzichtbar, um die Osteotomiekompensation aufrechtzuerhalten.

Kontinuierliche Korrekturen

Mit diesen Verfahren können viel größere Fehlstellungsradien korrigiert werden als mit den akuten Maßnahmen [2, 5, 7]. Die Weichteile werden bei der kontinuierlichen Korrektur mit einer Distraction von 0,5–2 mm am Tag sehr langsam an die auftretende Weichteilspannung angepasst. So ermöglicht die langsame Korrektur auch bei schlechten Weichteilsitu-

ationen eine Behandlung großer Fehlstellungen ohne weichteilplastische Eingriffe. Das Risiko einer Schädigung von neurovaskulären Strukturen ist bei den kontinuierlichen Korrekturverfahren deutlich geringer als bei den akuten Verfahren. Der Transport kann beim Auftreten von Gefühls- oder Hautdurchblutungsstörungen sofort gestoppt oder zurückgesetzt werden.

Als Osteosyntheseverfahren kommen der Ringfixateur als Standard-Ilisarov-Fixateur oder als Taylor-Spatial-Frame sowie unilaterale Fixateure zum Einsatz. Als intramedullärer Distraktor zur Längsenkorrektur von Femur und Tibia stehen der ISKD-Nagel (■ Abb. 5) ebenso wie Kombinationen von intramedullärem Kraftträger und Fixateur externe zur Verfügung (■ Abb. 6). Der Ringfixateur wird bei sehr ausgeprägten Fehlstellungen mit schlechten Weichteilen zur kontinuierlichen Korrektur bevorzugt. Er ist postoperativ voll belastungsfähig und bietet die Möglichkeit, kombinierte Fehlstellungen simultan zu korrigieren [7].

Der Taylor-Spatial-Frame als Weiterentwicklung des Standard-Ilisarov-Fixateurs wurde 1994 von J. C. Taylor in Memphis, USA, entwickelt [10]. Die Hexapodkinematik, wie sie bei Flugsimulatoren und im Maschinenbau eingesetzt wird, wurde auf den Standard-Ilisarov-Fixateur übertragen. Die Hexapodanordnung von 6 verstellbaren Streben zwischen den zu korrigierenden Ringebenen ermöglicht eine simultane Korrektur von mehrdimensionalen Deformitäten in 6 Achsen des Raums [5, 9]. Diese Weiterentwicklung eröffnete in der primären und der posttraumatischen Deformitätenkorrektur wesentlich größere Einsatzmöglichkeiten bei gleichzeitig größerer Flexibilität. Ebenso entfallen aufwändige

Trauma Berufskrankh 2007 · 9 [Suppl 3]: S390–S396
DOI 10.1007/s10039-007-1243-2
© Springer Medizin Verlag 2007

D. Seybold · J. Geßmann · L. Özokuyay · G. Muhr · M. Graf

Korrekturverfahren bei außergewöhnlichen Fehlstellungen

Zusammenfassung

Fehlstellungskorrekturen bei posttraumatischer Weichteil- und Knochensituation mit großem Fehlstellungsausmaß erfordern eine schonende und meist graduelle Korrektur, um sekundäre Gefäß-, Nerven- oder Weichteilschäden zu vermeiden. Akutkorrekturen können nur bei guter Weichteildeckung und günstiger Korrekturrichtung durchgeführt werden. Der Ringfixateur und insbesondere der Taylor-Spatial-Frame eignen sich im Besonderen für die graduelle Korrektur von Fehlstellungen mit großem Fehlstellungsausmaß. Eine simultane Korrektur von mehrdimensionalen Fehlstellungen mit dem Taylor-Spatial-Frame ist ohne große Fixateurbauten möglich. Die Patienten können sofort voll belasten und den Transport selbstständig durchführen.

Schlüsselwörter

Deformitätenkorrektur · Akutkorrektur · Ilisarov-Ringfixateur · Taylor-Spatial-Frame · Belastung

Correction procedures in unusual types of malalignment

Abstract

Severe posttraumatic deformities involving compromised soft tissue and bone demand gentle and usually gradual methods of correction so as to avoid secondary damage to the vascular system, nerves or soft tissue. Acute techniques are only possible when there is a good soft tissue mantle and the direction is safe. The Ilisarov ring fixator and the Taylor spatial frame are both known to be particularly suitable for gradual correction of severe deformities. The Taylor spatial frame allows correction of severe multiplanar deformities with no need for elaborate adaptations to it. The patients are capable of full weightbearing immediately and can be followed up as out-patients.

Keywords

Deformity correction · Acute correction · Ilisarov ring fixator · Taylor spatial frame · Weightbearing

Abb. 7 ◀ Oligotrophe Unterschenkel-pseudarthrose mit ausgeprägter Antekurvationsfehlstellung und Lateral-Thrust-Gonarthrose, geschlossene Korrektur mit TSF ohne additive Spongiosaplastik

und z. T. unangenehme Fixateurum- und -anbauten. Sowohl die Analyse der Deformität als auch die Planung der Korrektur erfolgen bei der Anwendung des Taylor-Spatial-Frame (TSF) webbasiert (■ **Infobox 1**). Die Korrekturmodi und

die Software des TSF sind so ausgelegt, dass die Analyse der Deformität und die Planung der Korrektur sowohl prä- als auch postoperativ möglich sind. Auch während der Korrektur können Ände-

rungen ohne große Fixateurumbauten durchgeführt werden.

Im Weiteren werden die Anwendungsmöglichkeiten des Taylor-Spatial-Frame-Fixateurs in der posttraumatischen Deformitätenkorrektur von ausgeprägten Fehlstellungen der unteren Extremität dargestellt.

Die Montage des TSF erfolgt intraoperativ mit proximaler oder distaler Referenzierung, wobei der Referenzring als erster und wichtigster Ring zur späteren Korrektur streng orthogonal zur Knochenachse angebracht wird. Ein Vorbauen des Fixateurs ist nicht erforderlich und teilweise sogar hinderlich, da der Referenzring dann schwieriger auszurichten ist. Die Planung der TSF-Korrektur erfolgt mit dem webbasierten Programm <http://www.spatialframe.com> im Total Residual Modus.

Intraoperativ bietet es sich an, FastFx-Streben zu verwenden, um eine höhere Flexibilität in der Ringanordnung und -ausrichtung zu haben, die postoperativ dann in Standardstreben ausgetauscht werden können. Nach Korrekturabschluss werden die Streben bei parallel stehenden Ringebenen mit Gewindestangen ausgetauscht, bei schief stehenden Ringebenen werden sie belassen und zusätzlich mit Gewindestangen die Ringposition fixiert. Bei Ringmontagen mit einer Rückfußtransfixation empfiehlt es sich, einen Verbandschuh mit Abrollsohle anzupassen, um eine Belastung der Extremität zu erleichtern. Die Korrektur der Fehlstellung können die Patienten selbstständig mit einem ausgehändigten Korrekturplan ambulant durchführen und müssen sich nur zur Kontrolle des Transports und für Strebenwechsel regelmäßig vorstellen.

Unterschenkelkorrekturen

Die Korrektur von ausgeprägten hypertrophen bzw. oligotrophen Fehlstellungspseudarthrosen des Unterschenkels mit dem TSF kann durch eine geschlossene Anlage einer stabilen 4-Ring-Montage erfolgen (■ **Abb. 7**) [1, 8]. Ein offenes Dekortizieren oder Augmentieren durch autologes oder allogen Knochensmaterial ist bei hypertrophen und oligotrophen Fehlstellungspseudarthrosen nicht erforderlich. Bei intaktem Wadenbein ist regel-

haft eine Wadenbeinosteotomie entsprechend der Korrekturrichtung durchzuführen. Durch eine kontinuierliche Distraktion in der Pseudarthrose mit einer Distraktionsgeschwindigkeit von 1–2 mm am Tag werden einerseits die Fehlstellung korrigiert und andererseits ein Distraktionsreiz auf die Pseudarthrose ausgeübt, der eine osteogene Stimulation bewirkt. Nach der Korrektur muss durch regelmäßiges Nachspannen des Fixateurs eine kontinuierliche Kompression bis zur Konsolidierung erfolgen. Die Fixateurtragezeit ist bei der Korrektur von ausgeprägten Fehlstellungspseudarthrosen sehr lange und beträgt im Durchschnitt 20 Wochen.

Supramalleoläre Rückfußkorrekturen

Das Zentrum der Fehlstellung nach traumatischen Fugenverletzungen liegt typischerweise intraartikulär bzw. gelenknah [11]. Die für die Korrektur erforderliche Osteotomie kann daher nicht auf Höhe der Fehlstellung erfolgen, sondern muss alternativ platziert werden. Eine Korrektur der Fehlstellung in der entfernten Osteotomie führt jedoch entsprechend der Osteotomieregel III zu einer anatomischen und mechanischen Fehlstellung [6]. Der TSF ermöglicht eine freie Platzierung des Korrekturzentrums (Origin) auch außerhalb des Fixateurarbeitsraums, sodass eine vollständige Korrektur der intraartikulären bzw. gelenknahen Fehlstellungen möglich ist.

Nach Fixateuranlage entsprechend der Rückfußfehlstellung erfolgt die supramalleoläre Osteotomie unter Schonung des Periosts als Bohrloch- oder perkutane Gigli-Sägen-Osteotomie (■ Abb. 8). Die Osteotomie der Fibula sollte nicht auf gleicher Höhe wie die Tibiaosteotomie erfolgen, um nicht zu viel Instabilität im Bereich der Korrektur zu erhalten. Die Osteotomierichtung der Tibia orientiert sich an der Gelenkfläche und der Korrekturrichtung, die der Fibula nur an der Korrekturrichtung. Der Transport wird je nach Alter des Patienten und der Knochen- bzw. Weichteilsituation 5–12 Tage nach der Osteotomie mit einer Geschwindigkeit von 0,5–1,5 mm am Tag begonnen. Durch radiologische Kontrollen können die Korrektur und die Kallus-

Abb. 8 ▲ Varusfehlstellung nach kindlicher Sprunggelenkfraktur mit sekundärer Kompensation und Verkürzung, Doppelosteotomie und Korrektur der Fehlstellung und des Längendefizits über eine Kallusdistraktion mit dem TSF

distraktion im Verlauf nachgehalten und ggf. korrigiert werden. Auf die Einnahme von NSAR und auf das Rauchen sollte während des Transports und der Konsolidationsphase generell verzichtet werden. Die Fixateurtragezeit variiert bei den Korrekturen über eine kurze Kallusdistraktionsstrecke sehr stark. Ein Healing-Index von 80 Tagen/cm ist durchaus realistisch.

Fazit für die Praxis

Posttraumatische Fehlstellungen mit großem Fehlstellungsmaß stellen hohe Anforderungen an das Korrekturverfahren und das verwendete Osteosynthesematerial. Die Weichteildurchblutung und Knochenvitalität sind posttraumatisch in der Regel beeinträchtigt und erfordern dadurch eine möglichst weichteil- und knochenschonende Korrektur. Dies gelingt mit externen Osteosynthesen und minimalinvasiven Osteotomien. Der Ringfixateur als Taylor-Spatial-Frame ist in der dreidimensionalen Korrektur von posttraumatischen Fehlstellungen gegenüber den internen Osteosynthesen und dem Standard-Ilizarov-Ringfixateur eine mittlerweile unverzichtbare Neuerung. Dreidimensionale Korrekturen können simultan und ohne große Fixateurumbauten durchgeführt wer-

den. Dies ermöglicht es, nach Fixateuranlage und Osteotomie den Patienten ambulant zu führen und nur zur Kontrolle des Transports oder zum Strebenwechsel einzubestellen.

Korrespondenzadresse

Dr. D. Seybold

Chirurgische Klinik und Poliklinik, BG-Kliniken Bergmannsheil, Ruhr-Universität Bochum
Bürkle-de-la-Camp-Platz 1, 44789 Bochum
dseybold@mac.com

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Feldman DS, Shin SS, Madan S et al. (2003) Correction of tibial malunion and nonunion with six-axis analysis deformity correction using the Taylor spatial frame. *J Orthop Trauma* 17: 549–554
2. Feldman DS, Madan SS, Ruchelsman DE et al. (2006) Accuracy of correction of tibia vara: acute versus gradual correction. *J Pediatr Orthop* 26: 794–798
3. Möllenhoff G, Josten C, Muhr G (1997) Kallotaxis – Osteoneogenese durch Dehnung – eine schonende Möglichkeit der Beinlängenwiederherstellung nach posttraumatischer primärer Unterschenkelverkürzung? *Zentralbl Chir* 122: 970–973
4. Nho SJ, Helfet DL, Rozbruch SR (2006) Temporary intentional leg shortening and deformation to facilitate wound closure using the Ilizarov/Taylor spatial frame. *J Orthop Trauma* 20: 419–424
5. Paley D (2002) Six-axis deformity analysis and correction. In: Paley D (ed) *Principles of deformity correction*. Springer, Berlin Heidelberg New York

6. Paley D, Herzenberg JE, Tetsworth K et al. (1994) Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. *Orthop Clin North Am* 25: 425–465
7. Rodl R, Leidinger B, Bohm A et al. (2003) Correction of deformities with conventional and hexapod frames – comparison of methods. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 141: 92–98
8. Rozbruch SR, Helfet DL, Blyakher A (2002) Distraction of hypertrophic nonunion of tibia with deformity using Ilizarov/Taylor spatial frame. Report of two cases. *Arch Orthop Trauma Surg* 122: 295–298
9. Seide K (2003) Der Hexapodfixateur externe. *Trauma Berufskrankh* 5: 7–62
10. Taylor J (2006) Tibia shaft fractures: spatial frame. In: Wiss D (ed) *Master techniques in orthopaedic surgery: fractures*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
11. Verheyden P, Josten C (1998) Supramalleolar corrective osteotomy. *Chirurg* 69: 1178–1187