Orthopäde 2017 · 46:673–680
 DOI 10.1007/s00132-017-3441-3
 Online publiziert: 19. Juli 2017
 © Der/die Autor(en) 2017. Dieser Artikel ist
 eine Open-Access-Publikation.

R. Baumgart · B. Schuster · T. Baumgart

ZEM-Germany, Zentrum für korrigierende und rekonstruktive Extremitätenchirurgie München, München, Deutschland

Kallusdistraction und Segmenttransport zur Behandlung von Knochendefekten

Knochendefekte können angeboren, unfall- oder tumorbedingt sein. Die unterschiedlichen Ursachen haben auch völlig unterschiedliche Behandlungsansätze zur Folge. Immer ist das Ausmaß der Defektstrecke in Zusammenhang mit der Gesamtlänge des betroffenen Knochens zu sehen, da zumindest an der unteren Extremität neben der Kontinuität auch die seitengleiche Extremitätenlänge und die achsengerechte Stellung das Behandlungsziel sein sollte.

Knochendefekte und ihre Ursache

Angeborene Knochendefekte

Angeborene Knochendefekte, wie die kongenitale Tibiapseudarthrose, werden bereits sehr früh im Kindesalter auffällig, weil Fehlstellungen und Verkürzungen auftreten und die Kinder die betroffene Extremität nicht richtig belasten. Ursache ist eine umschriebene Ossifikationsstörung, die die Ausbildung eines normalen Knochens verhindert. Nur wenn der erkrankte Knochen vollständig entfernt und der Knochendefekt erfolgreich überbrückt wird, besteht eine realistische Chance, dass der Knochen dauerhaft tragfähig wird.

Unfallbedingte primäre oder sekundäre Knochendefekte

Von primären, unfallbedingten Knochendefekten spricht man, wenn durch das Unfallereignis selbst ein Knochensegment verloren geht. Rasanztraumen

kommen hierzu ebenso in Betracht wie Munitionsverletzungen. Sofern einzelne Knochenfragmente zunächst in situ verbleiben und erst später, mit oder ohne operative Versorgung, nekrotisch werden, spricht man von einem sekundären Knochendefekt. Diese Knochenfragmente imponieren im Röntgenbild oft als reaktionslose Sequester. Sie täuschen einen scheinbar kleinen knöchernen Defekt vor und lassen das eigentliche Ausmaß der Defektstrecke anfänglich oft nicht erkennen. Auch Pseudarthrosen können langstreckige Knochendefekte verschleiern und zu erheblichen Verkürzungen führen, insbesondere wenn sie zur Begünstigung der Knochenheilung unter Druck gesetzt werden. Immer muss auch Klarheit bestehen, ob ein akutes oder chronisches Infektgeschehen ausgeschlossen werden kann oder ggf. berücksichtigt werden muss.

Tumorbedingte Knochendefekte

Die Resektion von malignen Knochentumoren muss im Gesunden erfolgen und grundsätzlich den etablierten Radikalitätsanforderungen gerecht werden, da nur dann in Kombination mit der Chemotherapie und ggf. einer Bestrahlung die bisherigen Behandlungserfolge auch weiterhin gesichert sind. Mit erheblichen Defektgrößen und zusätzlichen Vaskularitätsdefiziten aufgrund von Muskelresektionen ist zu rechnen. Bei malignen Tumoren, die gehäuft im Kindes- und Adoleszentenalter auftreten, kommt noch die Nähe oder sogar die Einbeziehung der Wachstumsfuge oder der angrenzenden Gelenke hinzu.

Bei benignen Knochentumoren sind die Ausgangsbedingungen deutlich günstiger, grundsätzlich gelten aber ähnliche Überlegungen.

Analyse der Ausgangssituation

Bevor Entscheidungen über das Behandlungskonzept bei Knochendefekten getroffen werden, ist einerseits das tatsächliche Ausmaß der Defektstrecke genau zu ermitteln und andererseits die Vaskularitätsreserve kritisch abzuschätzen. Das tatsächliche Ausmaß der Defektstrecke ist häufig nicht offensichtlich, was dazu führen kann, dass über lange Zeit insuffiziente Behandlungsmethoden eingesetzt werden. Auch fällt es nach mehreren Voroperationen schwer, mühsam aufgebaute dünne Knochenstraßen wieder zu opfern, wenn das tatsächliche Defektausmaß erst verspätet erkennbar wird. Es ist deshalb wichtig, gleich zu Beginn die Vitalitätsgrenzen des Knochens zu eruieren und solange nachzuresezieren, bis diese zweifelsfrei erreicht werden. Gleichzeitig muss dabei auch die gesamte Beingeometrie im Auge behalten werden. Gerade während der Initialbehandlung mit externen Fixateuren, wenn Vitalparameter erste Priorität haben, geht vielfach unkontrolliert Länge verloren oder es manifestieren sich

Abkürzungen

FSA	„Femur segment actuator“
ROM	„Range of motion“
SAA	„Slide active actuator“
TSA	„Tibia segment actuator“

Abb. 1 ◀ 12 cm langer Diaphysendefekt des Femurs, der während der Chemotherapie durch einen soliden Marknagel stabilisiert und danach gegen einen FITBONE®-Distraktionsmarknagel zum Segmenttransport ersetzt wurde (a). Kontinuierlicher Segmenttransport von proximal nach distal (b). Verfahrenswechsel vom starren Distraktionsmarknagel auf eine flexible Platte um die Regeneratentwicklung zu fördern (c)

Abb. 2 ◀ Nach Abschluss des Längenwachstums, 7 Jahre nach Tumorentfernung, Verlängerung des Femurs mit einem FITBONE®-Distraktionsmarknagel zum Ausgleich einer Verkürzung von 4 cm (a). Abschließendes Ergebnis nach Segmenttransport und Verlängerung (b)

zusätzlich Verkürzungen, Achsen- oder Torsionsabweichungen. Verkürzungen müssen kalkulatorisch der Defektstrecke hinzugerechnet werden. Achsen- und Torsionsabweichungen sind ebenfalls frühzeitig mitzuerfassen und in die Planung einzubeziehen, um Korrekturosteotomien nach Abschluss der Defektbehandlung möglichst zu vermeiden. Bei langstreckigen Defekten kann es vorteilhaft sein, eine bereits eingetretene Verkürzung bewusst zu belassen oder den Defekt sogar aktiv durch Längenaufgabe zunächst zu verkleinern. Die Verlängerung kann dann ggf. unter verbesserten Voraussetzungen zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen

(primäre Verkürzung und sekundäre Verlängerung). In jedem Fall muss zu Beginn der Defektbehandlung Klarheit darüber bestehen, wie viel Knochen tatsächlich fehlt, weil dies für die Auswahl des Konzepts der Defektbehandlung entscheidend sein kann.

Die Vaskularität unterscheidet sich bereits in gesunden Extremitätenabschnitten je nach Lokalisation ganz erheblich. Am Femur treten etwa an den Viertelpunkten jeweils eine, insgesamt also 3 Aa. nutriciae über die Linea aspera ein und versorgen das intramedulläre Gefäßsystem wesentlich besser mit arteriellem Blut als an der Tibia, wo nur eine A. nutricia, etwa im proximalen

Drittelpunkt, eintritt. Auch die periostale Blutversorgung ist am Femur mit seinem dicken Muskelmantel wesentlich besser ausgebildet als an der Tibia, die zum einen mit einem geringeren Mitteldruck perfundiert wird und zum anderen auf der Ventralseite nahezu unmittelbar der Haut anliegt. Besonders bei Verfahrenswechseln sind die Vaskularitätsreserven von größter Bedeutung. Während ein externer Fixateur die Versorgungsschienen des Knochen-Weichteil-Verbandes am wenigsten tangiert, haben andere Verfahren höchst unterschiedliche Auswirkungen. Konventionelle Platten, die Stabilität durch Anpressdruck vermitteln und die periostale Schiene stark

kompromittieren, wurden inzwischen weitgehend durch Platten mit winkelstabilen Schrauben ersetzt, sodass eine Art Fixateur interne resultiert und die Durchblutung auch unter der Platte erhalten bleibt.

Unverändert sind allerdings der operative Zugang und die damit verbundene Weichteilschädigung am Ort des Knochendefekts. Vorteile bieten diesbezüglich Marknagelsysteme, da diese Implantate durch einen kleinen Zugang fern der Defektregion eingebracht werden können. Sofern kein exzessives Aufbohren des Markraumes erfolgt, erholen sich die intramedullären Gefäße relativ rasch [9]. Eine kritische Abwägung muss aber in jedem Fall erfolgen.

Wesentlichen Einfluss hat auch das Vorliegen eines Infekts, was immer auch an eine ursächliche oder zumindest die Entstehung begünstigende Vaskularitätsschädigung denken lassen sollte. Schwere Weichteiltraumen oder nekrotische Knochenareale – insbesondere zerklüftete Knochenstrukturen – bieten Rückzugsmöglichkeiten für Bakterien und führen nicht selten zu einem chronischen Infektgeschehen. Nur die vollständige lokale Sanierung mit vitalem Gewebe verspricht dauerhaften Erfolg, auch wenn der Defekt zunächst deutlich größer wird.

Optionen bei Knochendefekten und Grundlagen der Kallusdistraction

Während bei Pseudarthrosen und kleineren Defekten der Goldstandard auch weiterhin in der autologen Spongiosaplastik gesehen werden kann, ist dieses Verfahren bei längeren Defektstrecken – zumindest nicht isoliert – keine Alternative. Eine Verbesserung, zumindest am Oberschenkel, verspricht die Masquelet-Technik [7], bei der in einem zweizeitigen Verfahren zur Verbesserung des Lagers zunächst eine Membran aufgebaut wird, und dann erst Spongiosa angelagert wird (s. hierzu Beitrag von Saxer F, Eckardt H in diesem Heft [8]). Der Einsatz von Knochenersatzmaterialien kann, zumindest bei größeren Defekten der langen Röhrenknochen, aus unserer Erfahrung bisher nicht überzeugen. Allenfalls die

Orthopäde 2017 · 46:673–680 DOI 10.1007/s00132-017-3441-3
© Der/die Autor(en) 2017. Dieser Artikel ist eine Open-Access-Publikation.

R. Baumgart · B. Schuster · T. Baumgart

Kallusdistraction und Segmenttransport zur Behandlung von Knochendefekten

Zusammenfassung

Hintergrund. Die Methode der Kallusdistraction beinhaltet als einziges Rekonstruktionsverfahren die Möglichkeit, primär vaskularisiertes, neues Knochengewebe nicht nur in Verbindung mit Längenzuwachs, sondern auch in unmittelbarem Weichteilverbund vor Ort – angepasst an die mechanische Beanspruchung – entstehen zu lassen. Das Verfahren ist zunächst nicht limitiert und zeichnet sich durch eine hohe Infektesistenz von der Infektprävention bis hin zur Infektsanierung aus. Dies ist für eine erfolgreiche Behandlung großer Knochendefekte eine wichtige Voraussetzung.

Technik. Als Standardverfahren kann ein Segmenttransport mit Ringfixateuren auch an weniger spezialisierten Kliniken selbst unter einfachen Voraussetzungen durchgeführt werden, wenn z. B. kein intraoperatives Röntgen möglich ist. In den

vergangenen 30 Jahren wurde jedoch mit der Entwicklung motorisierter, externer und voll implantierbarer Systeme eine wesentliche Steigerung bei der apparativen Umsetzung, die weit über den Standard hinausgeht, möglich.

Ergebnisse. Der hohe technische Aufwand ist kostenintensiv und erfordert Spezialkenntnis, was nur an spezialisierten Zentren vorgehalten werden kann. Komplikationslose Verläufe und die Behandlungsergebnisse rechtfertigen allerdings den Aufwand sowohl für die betroffenen Patienten als letztendlich auch für die Kostenträger.

Schlüsselwörter

Knochendefekt · Kallusdistraction · Voll implantierbare Systeme · Distraktionsmarknagel · Zugseilsystem · Osteotomie · Knochentumore

Callus distraction and bone transport in the treatment of bone defects

Abstract

Background. The method of “callus distraction” is the only technique which spontaneously produces vascularized bone within the surrounding soft tissues during lengthening reconstructive procedures. Remodeling of the regenerate bone to specific mechanical load can be influenced by the surgeon. In principle, there is no limit to the amount of new bone formation which can be created; this vascularized bone is both resistant to infection and can be created to replace resected infected bone. This is an important prerequisite for the successful treatment of large bone defects.

Technique. The ring fixator is still a standard tool if no radiological control is available in the operating theater, or in other less sophisticated environments. Over the last

30 years, however, the development of motorized, external and fully implantable systems has made it possible to achieve a significant increase in device implementation, which goes far beyond the standard.

Results. High-performance, reliable, custom-made external and fully implantable systems are cost intensive and require special surgical skills, which can only be ensured at specialized centers. However, the complication-free treatment results justify the effort both for the patient and, ultimately, for the cost bearers.

Keywords

Bone defect · Callus distraction · Fully implantable systems · Motorized intramedullary nail · Traction Wire System · Osteotomy · Bone tumors

Ergänzung zu körpereigener Spongiosa oder Markraumaspirat kann in Betracht gezogen werden, wenn nicht genug eigenes Spendermaterial zur Verfügung steht. Hier müssen, ebenso wie beim Einsatz von Ultraschall oder anderen knochenstimulierenden Maßnahmen, kritisch die

biologischen Grundlagen berücksichtigt und das Preis-Leistungs-Verhältnis abgewogen werden.

Das Einbringen von körpereigenem oder körperfremdem Material in einen Knochendefekt bleibt letztendlich immer ein Massenproblem. Die Blutversorgung

Abb. 3 ▲ 15 cm langer kniegelenknaher Knochendefekt mit Entfernung der Wachstumsfuge und Stabilisierung mit einem kniegelenküberbrückenden Hybridfixateur. Der 4/5-Ring stabilisiert mit 2 Drähten das kurze Kondylenfragment (a). Montage eines zentralen Zugseilsystems und schonende Kortikotomie eines Verschiebesegments (b). Intraoperativer Situs mit einem einzigen Zugseil, welches das Verschiebesegment über einen Weichteilverdrängungskonus verlässt (c). Kontinuierlicher, automatischer, richtungsstabiler Segmenttransport während der Chemotherapie. Der externe Motorantrieb (FITBONE® extern) zieht das Segment (d)

muss zunächst allein durch Diffusion aufrechterhalten werden, bis eine ausreichende Vaskularisierung eingetreten ist. Insbesondere bei größeren Mengen ist dies nicht sicher gewährleistet. Will man den Prozess der Gefäß einsprossung primär verbessern, bleiben nur der vaskularisierte Knochentransfer oder die Kallusdistraktion. Bei letzterer Methode werden die Knochenheilungsprozesse „überlistet“, indem man einen dauerhaften, längs gerichteten Zug auf das Fibroblastengewebe in einem Osteotomiespalt ausübt, und so bereits während der Regeneratentstehung die Gefäßneubildung anregt. Dies führt dazu, dass, anders als bei der Spongiosaplastik, nicht ein primär anisotropes Knochengewebe vaskularisiert und unter Belastung ausgerichtet wird, sondern dass primär ein isotropes Knochengewebe mit Gefäßanbindung entsteht, das wesentlich bessere me-

chanische Eigenschaften und Infektrisistenzen aufweist.

Die Kallusdistraktion in der Knochendefektbehandlung

Die Grundlagen der Kallusdistraktion sind bestens erforscht und wissenschaftlich anerkannt. Sie gehen im Wesentlichen auf Arbeiten von Ilizarov [4] zurück, der den uneingeschränkten Einsatz des Ringfixateurs zeitlebens propagierte. In den vergangenen 3 Jahrzehnten haben sich darauf aufbauend allerdings wesentliche Verbesserungen in der apparativen Umsetzung ergeben, sodass die Behandlungen deutlich sicherer und komfortabler geworden sind.

Hinsichtlich der Beinverlängerung mit und ohne Achsenkorrektur ist die anfängliche Technik der konventionellen Ringfixateure deutlich in den Hintergrund getreten und weitgehend

einer Hexapodentechnologie gewichen. Mit diesen multidirektional verstellbaren Apparaten sind alle Positionen zwischen 2 Knochenfragmenten im Raum erreichbar. Die Einstellvorgaben an den 6 Spindeln werden zwar durch einfach zu handhabende Computerprogramme erleichtert, was aber nichts daran ändert, dass die Apparatur die Extremität zirkulär umschließt und die Befestigungselemente einen permanenten Weichteilreiz erzeugen und meist hässliche Narben hinterlassen. Mit der Weiterentwicklung von voll implantierbaren Distraktionsmarknägeln [1] hat sich zumindest bei Erwachsenen der Einsatz von externen Fixateuren, auch der Hexapoden, zur Beinverlängerung stark reduziert, zumal mit modernen Implantaten und einer geeigneten Planungs- und Operationstechnik [3] minimalinvasiv intraoperativ alle Korrekturen der Achsen und der Torsion sowie postoperativ Verlängerungen simultan an Ober- und Unterschenkeln exakt und mit großer Sicherheit durchgeführt werden können und kaum Narben verbleiben.

» Zugseilsysteme sind weitgehend schmerzfrei und hinterlassen kaum Narben

Für die Behandlung von Knochendefekten durch Segmenttransport haben sich parallel zu dieser Entwicklung ebenfalls wesentliche apparative Verbesserungen ergeben. Die grundlegende Idee, ein dem Defekt zugewandtes Knochensegment schonend abzutrennen und dann kontinuierlich durch den Defekt zu ziehen, sodass im Osteotomiespalt – so wie bei der Verlängerung – neues Knochengewebe entstehen kann, ist unverändert geblieben [5]. Auch der gleichzeitige Transport von 2 gegenüberliegenden Segmenten aufeinander zu ist möglich. Die Apparatur wird dadurch komplexer, die Behandlungszeit wird dafür aber kürzer. Während früher mit konventionellen Ringfixateuren oder monolateralen Leichtmetallfixateuren ein Querverzug von Weichteilen mit entsprechender Hautreizung und hässlicher Narbenbildung unvermeidbar war, stehen jetzt Seilzugsysteme [6] zur Ver-

Abb. 4 ◀ Längsspaltung des Verschiebesegments und bidirektionaler Transport der beiden Segmenthälften zum Aufbau einer verbreiterten Kondylenabstützung (a). Kniegelenk-überbrückender Hybridfixateur zum bidirektionalen Segmenttransport (b). Freigabe des Kniegelenks und Stabilisierung des Femurs mit einer Platte und winkelstabilen Schrauben nach vollständigem Abschluss des Segmenttransports (c)

fügung, die wesentliche Vorteile bieten. Das Zugseil kann hierbei an 2 Stellen, medial und lateral, stationär durch die Weichteile außen liegenden Spindeln zugeführt werden [10], sodass der nachteilige Querverzug zum Transport des Verschiebesegments nahezu vollständig entfällt. Noch vorteilhafter ist ein einzelnes Zugseil, das über eine mittig im Knochen platzierte Umlenkrolle nicht nur die Extremität ortsfest verlässt, sondern darüber hinaus auch einem motorisierten Antrieb zugeführt werden kann, der an einem externen Fixateur montierbar ist [2]. Bei korrekter Fixateurmontage macht dieser sogenannte vollautomatische, motorische, zentrale Segmenttransport auch bei langstreckigen Defekten die Behandlung für die Patienten nahezu schmerzfrei und wesentlich komfortabler. Durch den Wegfall des Querverzugs und damit des permanenten Weichteilreizes verbleiben darüber hinaus kaum Narben.

Sofern keine Kontraindikationen gegen einen Marknagel bestehen und die Vaskularitätsreserven als ausreichend erachtet werden, kann sowohl ein alleiniger Segmenttransport als auch ein Segmenttransport mit einer sich anschließenden Verlängerung vorteilhaft im Rahmen einer einzigen Behandlung mit einem voll implantierbaren motorisierten Marknagelsystem (FITBONE®, Wittenstein intens, Igersheim, Deutschland) durchgeführt werden [1, 2].

Zur Stabilisierung der Hauptfragmente erfolgt eine proximale und distale Verriegelung der Implantate während das Verschiebesegment über eine Schraube oder einen Riegel transportiert wird. An der Kontaktstelle zum Hauptfragment (Dockingstelle) am Ende des Transports wird das Verschiebesegment unter Druck gesetzt, sodass es auch ohne Spongiosaanlagerung zu einer Fusion kommen kann. Sonderimplantate ermöglichen, falls erforderlich, eine sich anschließende Verlängerung, ohne dass eine erneute Operation erforderlich ist. Da der Patient nicht durch einen externen Fixateur belastet ist, relativieren sich die Behandlungszeiten. Letztendlich bleiben während der Transport- und Konsolidierungsphase somit nur die Teilbelastung und damit die Notwendigkeit von Unterarmgehstützen.

» Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangslagen sind Standardimplantate kaum verfügbar

Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangslagen hinsichtlich Knochenlänge, Knochendurchmesser sowie Ausmaß und Lage der Defektstrecke sind Standardimplantate für eine optimale, effektive Behandlung kaum verfügbar. Vielmehr müssen die erforderlichen

Komponenten meist individuell auf den jeweiligen Fall abgestimmt werden, was eine gute Planung bedingt und mit hohen Kosten verbunden ist. Als Sonderanfertigungen für Defekte und Verkürzungen am Ober- und Unterschenkel stehen die FITBONE®-Varianten SAA (Slide Active Actuator), FSA (Femur Segment Actuator) oder TSA (Tibia Segment Actuator) zur Verfügung. Die Operationstechnik mit entsprechender Konfektionierung der Hauptfragmente ist anspruchsvoll und bedarf einer genauen präoperativen Planung, da spätere Korrekturen nur im Rahmen einer erneuten Operation möglich sind. Die Defektbehandlung mit voll implantierbaren Systemen bedeutet somit einen erheblichen Aufwand, der nur an spezialisierten Zentren betrieben werden kann und die Möglichkeiten der Regelversorgung sprengt. Die zielführende Behandlungssicherheit, das geringe Infektionsrisiko und der hohe Behandlungskomfort für den Patienten rechtfertigen letztendlich aber diese Vorgehensweise.

Behandlungsbeispiele

Am Oberschenkel sind langstreckige Knochendefekte nach Tumoresektion häufiger und stellen eine große Herausforderung dar, während posttraumatische und infektrträgliche Knochendefekte eher am Unterschenkel lokalisiert sind. Im Folgenden werden zwei unterschied-

Abb. 5 ▲ 8 cm Beinverkürzung nach Abschluss des Größenwachstums (a, b). Simultane Ober- und Unterschenkelverlängerung mit FITBONE®-Distraktionsmarknägeln (c)

liche Behandlungsabläufe nach Tumorsektion am Oberschenkel dargestellt, die die jeweiligen Behandlungsbesonderheiten deutlich erkennen lassen. Einmal erfolgt bei Defektlokalisation im Bereich der Diaphyse die Rekonstruktion des Knochens mit einem Distraktionsmarknagel. Ein weiteres Beispiel zeigt aufgrund der Gelenknähe eine extrem aufwendige, multidirektionale Rekonstruktion mit einem externen Fixateur und einem Zugseilsystem.

Segmenttransport und Verlängerung am Femur mit Distraktionsmarknagel

Bei einem 11-jährigen Jungen bestand am linken Oberschenkel ein Ewing-Sarkom in der Schaftmitte. Nach En-bloc-Resektion resultierte eine Defektstrecke von 12 cm. Zur Stabilisierung wurde von retrograd ein solider Marknagel eingebracht, der die beiden Hauptfragmente zueinander positionierte und

zur Aufnahme der Axialkräfte jeweils 3 Verriegelungsoptionen proximal und distal aufwies. Mit diesem Implantat war es dem Patienten möglich, während der Chemotherapie voll zu belasten. Drei Monate nach Abschluss der Chemotherapie erfolgte im Rahmen einer erneuten Operation die Entfernung des Marknagels und die Implantation eines Distraktionsmarknagels (FITBONE®), der als Sonderimplantat einen Segmenttransport von proximal nach distal ermöglichte (■ Abb. 1a). Während der Transportzeit von 150 Tagen war eine Teilbelastung mit maximal 20 kg zulässig. Der Transport verlief regelrecht, allerdings zeigte sich auch 6 Monate nach Abschluss des Segmenttransportes nur eine marginale Regeneratbildung im Distraktionsspalt. Auf der Kontrollaufnahme erkannte man allerdings, dass die distale Femurwachstumsfuge weiterhin aktiv war, da das distale Marknagelende etwa um 15 mm weiter nach proximal verschoben war (■ Abb. 1b). Unter dem

Verdacht auf eine zu große Stressprotektion durch den rigiden Distraktionsmarknagel erfolgte der Wechsel auf eine weniger steife „Schiffchenplatte“, die von distal eingeschoben und mit jeweils 6 Kleinfragmentschrauben an den beiden Hauptfragmenten verankert wurde. Die Kontrollaufnahme 3 Monate später zeigte, dass sich das Regenerat in dem Distraktionsspalt unter der weniger rigiden Montage deutlich entwickelte (■ Abb. 1c), was die Vermutung bestätigt, dass das Regenerat zwar angelegt aber durch den starren Distraktionsmarknagel an der weiteren Ausbildung gehindert war. Die lateralseitige Platte wurde 3 Jahre nach der Implantation entfernt, die knöcherne Rekonstruktion zeigte sich in beiden Ebenen tragfähig, sodass auch sportliche Aktivitäten möglich wurden. Sieben Jahre nach der Defektrekonstruktion ergab die Vermessung der Beinlänge nach Abschluss des Längenwachstums bei dem jetzt 18-jährigen Jungen eine Beinlängendifferenz von 3,5 cm. In üblicher Weise erfolgte daraufhin die femorale Implantation eines Distraktionsmarknagels von retrograd und eine Osteotomie in minimalinvasiver Technik 8 cm proximal der Kniegelenkebene im ehemaligen distalen Hauptfragment (■ Abb. 2a). Der Distraktionsverlauf mit 1 mm pro Tag erfolgte komplikationslos, die Regeneratbildung war regelrecht, sodass 18 Monate später der Distraktionsmarknagel planmäßig wieder entfernt werden konnte. Die Standbeinaufnahme bei der Abschlussuntersuchung dokumentiert weitgehend seitengleiche Beinlängen in achsenge rechter Stellung (■ Abb. 2b) bei uneingeschränkter Kniegelenkfunktion.

Bidirektionaler Segmenttransport mit Hybridfixateur und Zugseilsystem

Bei einer 10-jährigen Patientin wurde ein Osteosarkom des rechten distalen Femurs diagnostiziert. Aufgrund der Gelenknähe musste die Wachstumsfuge mit entfernt werden, sodass nach En-bloc-Resektion im Gesunden (R0) ein 15 cm langer Knochendefekt resultierte und distalseitig lediglich ein 16 mm langes Segment mit den Resten

Abb. 6 ◀ Die rekonstruierte, verbreiterte Kondylenregion nach bidirektionalem Segmenttransport (a). Das Behandlungsergebnis mit 15 mm Restbeinlängendifferenz in achsengerechter Stellung nach Abschluss der Verlängerung und nach Entfernung der Implantate (b)

der beiden Femurkondylen verbleiben konnte. Die Stabilisierung der Extremität erfolgte mit einem ventral liegenden, kniegelenküberbrückenden Karbonfixator, ergänzt durch einen 4/5-Karbonring mit 2 gekreuzten Kirschner-Drähten, die das schmale Kondylenfragment fixierten (▣ Abb. 3a).

Von dem proximalen Hauptfragment wurde ein 6 cm langes Knochensegment schonend abgetrennt, an dessen distalem Ende ein Weichteilverdrängungskegel zur Ausleitung eines einzelnen Zugseils angebracht wurde (▣ Abb. 3b). Das Zugseil wurde über eine Umlenkrolle im Kondylenbereich geführt und nach außen einem kleinen, elektromotorischen Antrieb (FITBONE® externe) zugeleitet, der an dem Fixateur montiert war. Auf diese Weise wurde erreicht, dass in vorteilhafter Weise das vollautomatisch arbeitende Transportsystem völlig unabhängig vom Stabilisierungssystem bleibt (▣ Abb. 3c). In einem ersten Schritt erfolgte noch während der Chemotherapie der kontinuierliche Segmenttransport über 24 h, allerdings mit einer reduzierten Geschwindigkeit von 0,5 mm/Tag von proximal nach distal (▣ Abb. 3d).

Etwa 1 cm vor Erreichen der Dockingstelle erfolgte im Rahmen eines erneuten operativen Eingriffs die schonende

Längsspaltung des Verschiebesegments und die Befestigung von jeweils einem Zugseil an der medialen und an der lateralen distalen Kortikalis (▣ Abb. 4a). Die beiden Zugseile wurden separat nach außen geleitet und über Umlenkrollen gemeinsam dem außen liegenden elektromotorischen Antrieb zugeführt (▣ Abb. 4b). Nach Erreichen der medialen und lateralen Dockingstelle zu dem jeweiligen Kondylenfragment wurde die Montage reduziert und Spongiosa aus dem rechten Beckenkamm angelagert. Im weiteren Verlauf zeigte sich eine zunehmende Konsolidierung des Regenerats, sodass etwa 1 Jahr nach der Primäroperation die kniegelenküberbrückende Montage aufgehoben wurde und die Stabilisierung durch eine laterale Platte (▣ Abb. 4c) erfolgte, die dann im weiteren Verlauf durch eine kürzere Platte ersetzt werden konnte.

Im Alter von 15 Jahren entwickelte die Patientin, bedingt durch den Verlust der distalen Femurwachstumsfuge, eine Beinlängendifferenz von 8 cm (▣ Abb. 5a). Es folgte die Implantation jeweils eines antegraden FITBONE®-Distraktionsmarknagels in das Femur und eines weiteren Distraktionsmarknagels in die Tibia sowie die simultane Verlängerung an Ober- und Unterschenkel

zum Ausgleich der Beinlängendifferenz (▣ Abb. 5b).

Bei der Abschlussuntersuchung konnte folgendes Ergebnis ermittelt werden:

- Tumorfreiheit über 10 Jahre (Chemotherapie regelrecht durchgeführt).
- Multidimensional rekonstruierte Defektregion suprakondylär (▣ Abb. 6a).
- ROM Kniegelenk rechts (Extension/Flexion) 0-0-130 nach 13 Monaten Kniegelenküberbrückung.
- Verbliebene Beinlängendifferenz 1,5 cm, bedingt durch weiteres Restwachstum links (▣ Abb. 6b).
- Insgesamt 9 Operationen im Rahmen der Rekonstruktion und Verlängerung.
- Normales Gangbild, keine Schmerzen.
- Keine Fremdmaterialien, keine künstlichen Gelenke.

Fazit für die Praxis

- Der Behandlung von Knochendefekten sollte eine genaue Analyse der gesamten Beingeometrie und der Vaskularitätsreserve vorausgehen.
- Langstreckige Knochendefekte überfordern mengenmäßig häufig die körpereigenen Lager und sind anfällig für Infektionen.

- Die Methode der Kallusdistraktion beinhaltet als einziges Rekonstruktionsverfahren die Möglichkeit, nahezu unbegrenzt primär vaskularisiertes, neues Knochengewebe entstehen zu lassen.
- Das Regenerat kann modelliert und den jeweiligen mechanischen Beanspruchungen optimal angepasst werden.
- Die unbegrenzte Verfügbarkeit, die hohe mechanische Stabilität und die vaskularitätsbedingte Infekteresistenz sind wesentliche Voraussetzungen für eine erfolgreiche Behandlung langstreckiger Knochendefekte.
- Als Standardverfahren kann die Kallusdistraktion mit klassischen Ringfixateuren auch an weniger spezialisierten Kliniken unter einfachen Voraussetzungen eingesetzt werden.
- Motorisierte externe und voll implantierbare „Custom Made“-Implantate optimieren den Segmenttransport an spezialisierten Zentren.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Dr. R. Baumgart

ZEM-Germany, Zentrum für korrigierende und rekonstruktive Extremitätenchirurgie München
Nymphenburgerstraße 1, 80336 München, Deutschland
baumgart@zem-germany.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. R. Baumgart weist auf folgende Beziehung hin: Bezahlter Beratervertrag mit Wittenstein intens. B. Schuster und T. Baumgart geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren. Alle Patienten, die über Bildmaterial oder anderweitige Angaben innerhalb des Manuskripts zu identifizieren sind, haben hierzu ihre schriftliche Einwilligung gegeben. Im Fall von nichtmündigen Patienten liegt die Einwilligung eines Erziehungsberechtigten oder des gesetzlich bestellten Betreuers vor.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Literatur

1. Baumgart R, Santarelli M, Baumgart T (2015) Limb lengthening: computerized. The internal lengthening nail (FITBONE®) – a computerized system for lengthening, axis and torsion correction and bone transport of the lower limb. In: Rommens PM, Hessmann MH (Hrsg) Intramedullary nailing: a comprehensive guide. Springer, London, 5505–525
2. Baumgart R, Baumgart T (2012) Der vollautomatische, motorisierte Segmenttransport. Trauma Berufskrankh 14:90–98
3. Baumgart R (2009) The reverse planning method for lengthening of the lower limb using a straight intramedullary nail with or without deformity correction – a new method. Operat Orthop Traumatol 2:221–233
4. Ilizarov GA (1992) Transosseous osteosynthesis. Theoretical and clinical aspects of the regeneration and growth of tissue. Springer, Berlin Heidelberg New York
5. Kold S et al (2014) Bone transport of the tibia with a motorized intramedullary lengthening nail – a case report. Acta Orthop 85(2):211–213
6. Labitzke R (2000) Manual of cable Osteosyntheses. History, technical basis, biomechanics of the tension band principle, and instructions for operation. Springer, Heidelberg
7. Masquelet AC, Beque T (2010) The concept of induced membrane for reconstruction of large bone defects. Orthop Clin North Am 41:27–37
8. Saxer F, Eckardt H (2017) Rekonstruktion ossärer Defekte mit der Masquelet-Technik. Orthopäde. doi:10.1007/s00132-017-3443-1
9. Schweiberer L (1970) Das Verhalten der interossären Gefäße nach Osteosynthese der frakturierten Tibia des Hundes. Therapiewoche 20:1330
10. Weber M (1998) Segmenttransport des Knochens mittels Kabelrollen und flexiblem Draht – eine neue Technik am Ringfixateur. Med Orth Tech 118:134–140

Wissenschaftspreis 2017 der AE – Deutsche Gesellschaft für Endoprothetik und der Stiftung Endoprothetik

Die AE – Deutsche Gesellschaft für Endoprothetik und die Stiftung Endoprothetik schreiben gemeinsam den Wissenschaftspreis 2017 als Auszeichnung für innovative wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiet der Endoprothetik aus. Die Auszeichnung wird aufgeteilt auf zwei Preise:

- Einen Preis für eine herausragende Arbeit auf dem Gebiet der **Grundlagenforschung**, die eindeutigen Bezug zur Endoprothetik zeigt.
- Einen Preis für eine herausragende Arbeit auf dem Gebiet der **angewandten Forschung**, die einen eindeutigen Bezug zu einer klinischen Fragestellung der Endoprothetik zeigt.

Die Auszeichnung der prämierten Arbeiten erfolgt mit jeweils € 10.000. Somit beträgt die Gesamtdotierung € 20.000.

Eingereicht werden können ausschließlich Arbeiten, die in einem Peer-Review-Journal publiziert oder zur Publikation angenommen worden sind. Die Publikation darf nicht älter als ein Jahr sein. Es werden nur Arbeiten berücksichtigt, die nicht gleichzeitig für einen anderen Preis eingereicht und bereits anderweitig ausgezeichnet worden sind.

Die Arbeiten müssen in deutscher oder englischer Sprache abgefasst sein und in 6-facher Ausfertigung bis zum

15.09.2017 bei der Geschäftsstelle der *AE – Deutsche Gesellschaft für Endoprothetik e.V., Oltmannstraße 5 in 79100 Freiburg*, eingegangen sein. Die eingereichten Arbeiten werden von zwei unabhängigen Jurys hinsichtlich ihrer Preiswürdigkeit bewertet.

Beim 19. AE-Kongress am 1.–2. Dezember 2017 in Hamburg sollen die Preisträger die prämierten Arbeiten in Kurzreferaten präsentieren.

Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

Weitere Informationen erhalten Sie unter Tel.: 07 61/45 64-76 66 und www.ae-germany.com.