
Beinlängendifferenz bei Kindern und Jugendlichen – funktionelle Auswirkungen und die operative Therapie mit intramedullären motorisierten Marknägeln

15 Jahre Erfahrung am Universitätskinderspital beider Basel (UKBB)

PD Dr. A. H. Krieg, Leitender Arzt, Kinderorthopädie, Knochen- und Weichteiltumorzentrum der Universität Basel (KWUB), Universitätskinderspital beider Basel (UKBB), andreas.krieg@ukbb.ch

Beinlängendifferenz und funktionelle Analysen

Beinlängendifferenzen sind häufig: Etwa ein Drittel der Bevölkerung weist eine Abweichung von 0,5–1,5 cm auf, 5 % mehr als 1,5 cm, und etwa 1/1000 Menschen wurde eine Sohlenerhöhung verordnet^{1,2}. Trotz des Mangels an biomechanischen Daten, die ein scheinbar grundlegendes menschliches anatomisches Prinzip unterstützen, ist es eine gängige orthopädische Lehrmeinung, dass das Becken horizontal und die Lendenwirbelsäule in einer zweibeinigen Standposition und in der Standphase beim Gehen symmetrisch belastet sein sollte. Grössere Beinlängenunterschiede führen zwangsläufig zu muskulärer Dysbalance mit Auswirkungen auf das Achsenskelett, sie sind ferner ein Risikofaktor für die Kniearthrose³. Daher sollten relevante Längendifferenzen korrigiert werden, wobei die Regel, dass Unterschiede bis zu 2 cm zu tolerieren seien, als apodiktisch und eher historisch einzuschätzen ist⁴. Viel bedeutsamer sind individuelle anatomische Parameter wie Beckenbreite, Muskelkraft und propriozeptive Kompetenz. Gerade in diesem Bereich ist die wissenschaftliche Datenlage noch unzureichend.⁵

Aus diesem Grund wurde von unserem Team eine Studie durchgeführt, die die Gangkinematik der Wirbelsäule bei Patienten und Patientinnen mit struktureller Beinlängendifferenz (BLD) untersuchte und die unmittelbare Wirkung einer orthopädischen Sohlenerhöhung evaluierte. Das Kollektiv umfasste 10 Jugendliche mit struktureller BLD (20–60 mm) und 14 gesunde Kontrollpersonen. Alle Teilnehmenden wurden mit einer Kombination aus dem Ganzkörper-Plug-in-Gang und einem speziellen Rumpfmarker-Set ausgestattet. Anschliessend wurden die Teilnehmenden gebeten, sowohl barfuss als auch mit einer orthopädischen Schuhzurichtung (nur Patienten) zu gehen. Die Daten wurden mit einem Motion-Capture-System

mit 12 Kameras erfasst, und die Wirbelsäulenwinkel wurden in MATLAB mit einer Circle-Fit-Funktion berechnet. Zu den Ergebnissen gehörten die Wirbelsäulen- und Beckenwinkel in allen drei Ebenen, die Winkel der unteren Extremitäten sowie die räumlich-zeitlichen Gangparameter. Gruppenvergleiche wurden mittels eindimensionalem Statistical Parametric Mapping (SPM) durchgeführt. Unterschiede wurden nur dann als klinisch relevant angesehen, wenn sie grösser als 5° waren.⁶

Die Patienten und Patientinnen mit BLD zeigten statistisch signifikante und klinisch relevante grössere Lumbalbeugewinkel in der Frontalebene zur längeren Seite während der frühen Standphase und der terminalen Schwungphase, eine stärkere Beckenkipfung zur kürzeren Seite und grössere Hüftadduktionswinkel am längeren Bein während des gesamten Gangzyklus im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe. In der Sagittalebene zeigten die Patienten und Patientinnen in der mittleren Standphase eine stärkere Kniestreckung auf der kürzeren Seite und eine stärkere Dorsalflexion im Sprunggelenk der längeren Seite in der terminalen Standphase. Darüber hinaus konnten alle Gangabweichungen, die bei Patientinnen und Patienten mit BLD beobachtet wurden, durch eine Korrektur der BLD mit Hilfe einer Sohlenerhöhung sofort beeinflusst werden. Als Reaktion auf die BLD zeigten die Patientinnen und Patienten eine seitliche Beckenkipfung zur kürzeren Seite, die durch eine seitliche Beugung der Lendenwirbelsäule und eine seitliche Verschiebung des Beckens zur längeren Seite kompensiert wurde. Desweiteren scheint die Verwendung einer orthopädischen Korrektur eine geeignete Option zu sein, um die Gangkinematik bei Patientinnen und Patienten mit leichter bis mittlerer BLD sofort zu verbessern.⁶

Bei deutlichen Beinlängendifferenzen rechnet sich die konservative Behandlung weder im Hinblick auf die medizinischen Faktoren und die Lebensqualität, noch aus ökonomischen Gründen. Dies gilt sowohl für Patientinnen und Patienten sowie für die Kostenträger. Wir haben dies in einer Studie 2011 bereits analysiert: Für den Ausgleich einer Beinlängendifferenz wurden Gesamtkosten von rund 100 000 Euro errechnet um eine Beinlängendifferenz von mehr als zwei Zentimeter mit Hilfe von Orthesen lebenslang auszugleichen. Für eine operative Behandlung mit einem motorisierten Distractionsnagel wie den Fitbone® wurden Gesamtkosten von ca. 38 000 Euro berechnet.* Die reinen Implantatkosten belaufen sich auf etwa 11 000 Euro für den Fitbone-Nagel und 7 500 Euro für einen Standard Taylor Spatial Frame (TSF).⁷

Wir haben auch die Kraftverhältnisse bei Patienten und Patientinnen mit Beinlängendifferenzen angeschaut und folgendes festgestellt: Das mediane maximale isokinetische Drehmoment in den Streckmuskeln war im längeren Bein 15 % höher als im kürzeren Bein. Wir vermuten, dass ein kompensatorischer Mechanismus für diesen Effekt verantwortlich sein könnte. Das längere Bein kompensiert mit einer Beugung des Knies, die die mechanische Arbeit des längeren Beines erhöht und dadurch zu einer höheren Muskelkraft in den Streckern führt. Die Oberschenkelbeuger zeigten keinen signifikanten Kraftunterschied.⁸

* Die Berechnung der Gesamtkosten für eine Fitbone-Behandlung erfolgte basierend auf den aktuellen lokalen Erstattungssätzen für einen öffentlichen Patienten, ein betroffenes Segment, Implantation und Explantation, Spitalaufenthalt von insgesamt drei Wochen (Implantation und Explantation), und Physiotherapie zweimal pro Woche für ein Jahr. Gleichermassen, wurden die Gesamtkosten für den Beinlängenausgleich mit Hilfe von Orthesen als konservativer Therapieansatz analysiert. Diese Orthesen wurden von einem örtlichen Orthopädietechniker berechnet unter der Annahme, dass ein nicht-privater Patient mit einer Beinlängendifferenz von mehr als 2 cm, der zweimal im Jahr Schuheinlagen und Sohlenerhöhung über 60 Jahre benötigt.

Indikation, Historie und Allgemeines zur operativen Therapie

So alt wie die Geschichte der Beinverlängerung ist, ist die Indikationsstellung bzw. ihre Ursachen: In den letzten 150 Jahren haben sich die Indikationen von Beinlängendifferenzen und Deformitäten aufgrund von Poliomyelitis, Kriegsverletzungen, Osteomyelitis und fehlgeleiteten Frakturen verlagert auf:

- angeborene Probleme wie Femurdefekte, einfache Femurhypoplasie, Fibulahemimelie und Tibiaaplasie, Hemihyper- und Hemihypotrophie
- erworbene Probleme wie posttraumatischer Wachstumsstillstand, postinfektiöse Zustände, avaskuläre Nekrose, Morbus Perthes, Morbus Blount, Skelettdysplasie, Rachitis, Syndrome, Morbus Ollier, Tumore oder deren sekundären Folgen usw.^{1,9}

Eine sorgfältige und vorsichtige Indikationsstellung zur intramedullären Beinverlängerung und Deformitätenkorrektur ist unumgänglich. Unserer Meinung nach besteht die Indikation für eine operative Beinverlängerung bei Beinlängendifferenzen von 2,5 cm oder mehr und insbesondere bei Patientinnen und Patienten, bei denen eine Epiphyseodese (Verödung der Wachstumsfuge und somit Stopp des Wachstums auf der Gegenseite) keine gute Option wäre (vorzeitige Wachstumsstopp durch Infektion oder Tumor beeinträchtigte Wachstumsplatte, Kleinwuchs usw.).

Einer der ersten Pioniere der Beinverlängerung war Alesandro Codivilla im Jahr 1903, der bei Patientinnen und Patienten mit Coxa vara Oberschenkelosteotomien durch Anwendung von Zug über einen Gips und einen transkalzanealen Draht durchführte.¹⁰ Etwa 10 Jahre später erkannte Louis Ombrédanne als Erster die Bedeutung einer allmählichen Verlängerung und führte erfolgreich eine Femurverlängerung um 4 cm in Schritten von je 5 mm/Tag mit einem externen Fixateur durch.¹¹ Der erste Ringfixateur wurde in den frühen 1950er Jahren von R. Wittmoser eingeführt, fand aber damals kaum Beachtung.¹² Den Durchbruch brachten die Beobachtungen von Gavril Ilizarov (1921-1992), der als Allgemeinmediziner in Kurgan (Südwestsibirien, Russland) unzählige Kriegsveteranen wegen posttraumatischer Deformitäten, infizierter Pseudarthrosen und Knochendefekte behandelte.⁵ Er definierte die wichtigsten Prinzipien der Beinverlängerung und Deformitätenkorrektur wie die Bedeutung einer perkutanen Kortikotomie, einer Latenzzeit

von einigen Tagen, einer halbstarren Fixierung und einer definierten Distraktionsstrecke von 1 mm/Tag, die bis heute gültig sind. Der nächste grundlegende Schritt war die Einführung von intramedullären Verlängerungsgeräten in den 1970er Jahren. Die ersten Systeme, wie z.B. der hydraulisch druckgetriebene Verlängerungsnagel von Götz et al., waren offene Systeme, bei denen die externen Komponenten direkt mit dem Nagel verbunden waren und daher eine hohe Ausfallrate aufgrund von tiefen Infektionen aufwiesen.^{5, 13} Dieser Nachteil wurde durch vollständig implantierbare Verlängerungsnägel überwunden; der erste wurde 1978 von Witt et al. beschrieben.¹⁴ Bliskunov entwickelte einen mechanisch angetriebenen Verlängerungsnagel mit einem Ratchet-Mechanismus, bei dem die Länge über eine durch die Hüftbewegung vermittelte Kompression des Nagelklickers am Darmbeinflügel erzeugt wurde.⁵

Ab 1990 wurden vor allem zwei mechanische Verlängerungsnägel, nämlich der Albizzia® und der ISKD® (Intramedullärer Skelett-Kinetischer Distraktor) sowie der vollimplantierbare motorisierte Verlängerungsnagel (Fitbone®) (Abb. 1) konsequent eingesetzt und in der Literatur beschrieben.¹⁵⁻¹⁸ Die neuesten Entwicklungen vollimplantierbarer Verlängerungsnägel sind magnetgetriebene Implantate, nämlich der Precice®-Nagel und der Phenix®-Nagel.^{19, 20}

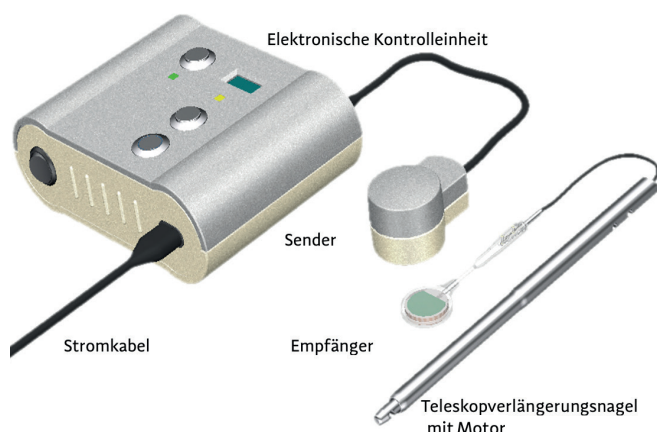


Abb. 1: Fitbone TAA (Telescope Active Actuator) mit Steuer- und Sendeeinheit

Die Anwendung von soliden Verlängerungsnägeln bei Kindern könnte durch offene Wachstumsplatten eingeschränkt sein. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Perforation der distalen Femurwachstumsplatte durch ihren zentralen Teil mit einem polierten Implantat (z.B. retrograde Nagelung) keine nachteiligen Auswirkungen auf das Wachstumspotenzial hat und keine iatrogenen Deformitäten verursacht.^{21, 22} Die antegrade Nagelung der Tibia oder des Femurs wird dagegen nicht empfohlen, da sie zu einem Wachstumsstillstand führen kann. In unserer Klinik wird während des epiphysären Wachstums auf den Einsatz von intramedullären Beinverlängerungsgeräten verzichtet, ausser in begründeten Einzelfällen. Ansonsten wird, ähnlich wie bei Patientinnen und Patienten mit ausgeprägten Winkeldeformitäten, die die Voraussetzungen für eine Marknagelung nicht erfüllen, die Verwendung von externen Fixateuren wie dem Taylor Spatial Fame (TSF) empfohlen.⁷ Weitere Kontraindikationen für intramedulläre Verlängerungsnägel sind – unserer Meinung nach – der Nachweis einer Osteomyelitis innerhalb der letzten zwei Jahre, fehlende Compliance oder angeborene Deformitäten wie Hüftdysplasie an den angrenzenden Gelenken.

Grundlegende Diagnostik

Es ist von grösster Bedeutung, dass sich der diagnostische Algorithmus nicht nur auf die knöcherne Deformität konzentriert, sondern ein Gesamtbild erstellt, das den physischen und psychischen Zustand der Patientin oder des Patienten sowie die lokale Biologie einschliesst. Zusammenfassend kann so der Schwierigkeitsgrad und das Risiko abgeschätzt²³ und die Patientin oder der Patient unter Abwägung aller potenziellen Gefahren informiert und aufgeklärt werden:

- Gelenkinstabilitäten, die von einer leichten Laxität bis hin zu einer fixierten Subluxation oder sogar Luxation reichen
- fixierte Flexionsdeformitäten und ein verminderter Bewegungsumfang des Knies
- osteoarthritische Veränderungen
- schlechte Knochen- oder Weichteilqualität
- frühere Infektionen
- allgemeine medizinische Probleme wie Rauchen, Diabetes und regenerationshemmende Medikamente, um nur einige zu nennen.

Eine psychologische Beurteilung (Intelligenz, Compliance, soziales Umfeld), um festzustellen, ob der Patient oder die Patientin und seine Familie für das geplante Vorhaben geeignet sind, und der Kontakt mit anderen Patienten und Patientinnen können sinnvoll sein, um die Erwartungen zu definieren.^{16,18}

Der Kernprozess ist eine präzise dreidimensionale Deformitätsanalyse, um das Ziel festzulegen und die Art der Korrektur zu wählen. Nur die Minderheit der Patientinnen und Patienten weist eine reine Beinverkürzung auf. Die meisten zeigen auch Deformitäten in der Frontalebene oder, in geringerer Masse, sagittale und rotatorische Anomalien.²⁴ Die Deformität wird in Typ I (eindimensional) bis Typ IV (vierdimensional) eingeteilt, was den Vergleich der Ergebnisse von Verlängerungs- und Achsdeformitätenkorrekturen in Abhängigkeit von der Komplexität ermöglicht.²⁴

Zur grundlegenden Röntgenuntersuchung gehören anteroposteriore und laterale Röntgenaufnahmen beider Beine (Orthoradiogramme) im Stehen mit der Patella nach vorne, wobei Blöcke unter den Fuss des kurzen Beins gelegt werden, um das Becken zu nivellieren. Eine Magnetresonanztomographie (MRT) wird bei Rotationsfehlstellungen angeordnet, um die Anteversion des Oberschenkels und die Torsion des Schienbeins zu bestimmen.⁵ Moderne Bildgebungssysteme, z.B. sterEOS®, bilden das gesamte aufrechte menschliche Skelett gleichzeitig in orthogonalen Ebenen mit weniger Einstrahlungs- und Projektionsfehlern und der Möglichkeit zur dreidimensionalen Rekonstruktion.²⁵ Desweiteren führen wir ein Röntgen der linken Hand durch, um das definitive Knochenalter im Vergleich zum chronologischen Alter zu bestimmen.

Die manuelle, digitalisierte oder softwaregestützte Deformitätsanalyse umfasst einen Fehlstellungstest, eine Rotationszentrumsanalyse (CORA), die Bestimmung der mechanischen Achse und ihrer Beziehung zur Kniemitte sowie standardisierte Messungen der Gelenkorientierungswinkel (z.B. mechanischer lateraler distaler Femurwinkel [mLDFA], medialer proximaler Tibiawinkel [MPTA]). Die Deformitätsanalyse und die Wahl des Osteotomieortes bestimmen das Ausmass der Winkel- und Translationskorrektur.

Ein gründlicher klinischer Status konzentriert sich auf die Gelenkinstabilität und den Bewegungsumfang, den Zustand der Weichteile und schliesst den neurovaskulären Status ein. Die funktionelle Beurteilung

durch eine erfahrene Physiotherapeutin oder einen erfahrenen Physiotherapeuten, Kraftmessungen (isokinetische Tests) und ein Ganglabor sind hilfreiche Instrumente im Entscheidungsprozess bei komplizierten Fällen.⁵

Allgemeine Überlegungen zur intramedullären Beinverlängerung und Deformitätenkorrektur

Aufgrund der geringeren Komplikationsrate und des höheren Patientenkomforts haben sich intramedulläre Verlängerungsvorrichtungen wie der Fitbone® Nagel, den wir seit 15 Jahren bei uns anwenden, zu einer vielfach bevorzugten Alternative gegenüber externen Fixateuren entwickelt.^{7,26}

Das komplett implantierbare System weist viele Vorteile gegenüber den herkömmlichen externen Fixateuren auf. Das Infektrisiko ist sehr gering. Der Aufwand der täglichen Reinigung für Patient oder Patientin, Eltern und das Pflegepersonal fällt bei diesem System weg. Der Weichteilmantel (Haut und Muskeln) um den zu verlängernden Knochen wird durch die kleinen operativen Zugänge und der nahezu komplett intramedullären Lage des Implantates deutlich weniger strapaziert. Der Patient oder die Patientin hat dadurch weniger postoperative Schmerzen und erreicht schneller seine normale Beweglichkeit. Ohne Transfixation von Haut und Muskeln ermöglichen die Verlängerungsnägel in den ersten Tagen nach der Operation die volle Gelenkbewegung, während externe Fixateure den Bewegungsumfang schon vor Beginn des Verlängerungsprozesses vermindern.^{7,27} Dies wirkt sich dann auch deutlich auf die geringeren Rehabilitationsszeiten bei den Patientinnen und Patienten mit intramedullärer Verlängerung aus.⁷

Darüber hinaus haben sich dank der Fortschritte bei intramedullären Verlängerungsnägeln und der Einführung neuer Implantate die Indikationen für ihre Verwendung in den letzten zehn Jahren geändert, wobei sogar dreidimensionale Deformitätskorrekturen durchgeführt werden.²⁸ Seit wenigen Jahren nutzen wir auch den Precise® Nagel, bei dem im Moment noch kürzere und schmalere Knochensegmente verlängert werden können, der aber bezüglich des Handlings / Controlling für die Patientin oder den Patienten etwas aufwendiger ist. Beide Systeme liefern gleich gute Resultate bei der Erreichung des Verlängerungszieles (siehe unten).²⁹

Generell ist die intramedulläre Gliedmassenverlängerung in Kombination mit einer Deformitätenkorrektur anspruchsvoll in Bezug auf die präoperative Planung, die Operationstechnik und das postoperative Management und sollte daher erfahrenen Chirurgen vorbehalten bleiben. Im Gegensatz zu externen Systemen unterliegt die Verwendung von geraden soliden Marknägeln jedoch bestimmten anatomischen Voraussetzungen:

- Eine ausreichenden Knochenlänge (entsprechend der minimalen Implantatlänge)
- Geeignete Markraumabmessungen (entsprechend dem minimalen Implantatdurchmesser)
- Fehlen ausgeprägter Winkeldeformitäten⁷
- Eine CORA (Rotations- und Angulationszentrum), die weit von der geplanten Osteotomie entfernt liegt, ist ein zusätzliches geometrisches Hindernis, das die Verwendung intramedullärer Systeme beeinträchtigen kann
- Implantat-assoziierte Einschränkungen können sich darüber hinaus aus einem obligatorischen Osteotomieniveau (bestimmter Mindest-/Maximalabstand vom Eintrittspunkt) einiger Implantate ergeben, um stabile Verriegelungsbedingungen zu erreichen²⁶

Alle Deformitätskorrekturen mit Ausnahme des Verlängerungsverfahrens müssen intraoperativ durchgeführt werden und können – anders als bei externen Fixateuren und insbesondere dem TSF – postoperativ nicht angepasst werden. Ausserdem erfolgt die Verlängerung über einen geraden Marknagel, im Gegensatz zur Verlängerung mit externer Fixierung – die in der Regel der mechanischen Achse folgt – entlang der Nagelachse, die sich typischerweise der anatomischen Achse annähert¹⁶. Daher sind auch bei Patientinnen und Patienten ohne Winkeldeformitäten Änderungen der mechanischen Achse während des Verlängerungsprozesses unvermeidlich (z.B. ein gewisses Mass an Valgisierung bei retrograder Femurverlängerung). Wird diese geometriebedingte Achsenverschiebung präoperativ nicht berücksichtigt, kann die intramedulläre Verlängerung zu einer iatrogenen Achsendeformität führen²². Daher erfordert die Verlängerung mit/ohne begleitende Winkel fehlerstellung mit geraden Implantaten immer eine sorgfältige präoperative Planung sowie eine sorgfältige Implantationstechnik^{3,30}. Andererseits sind nach sorgfältiger präoperativer Planung auch komplexe Deformitätenkorrekturen mit intramedullären Verlängerungsinstrumenten möglich, wenn gerade starre Bohrer verwendet werden (siehe Abb. 2).

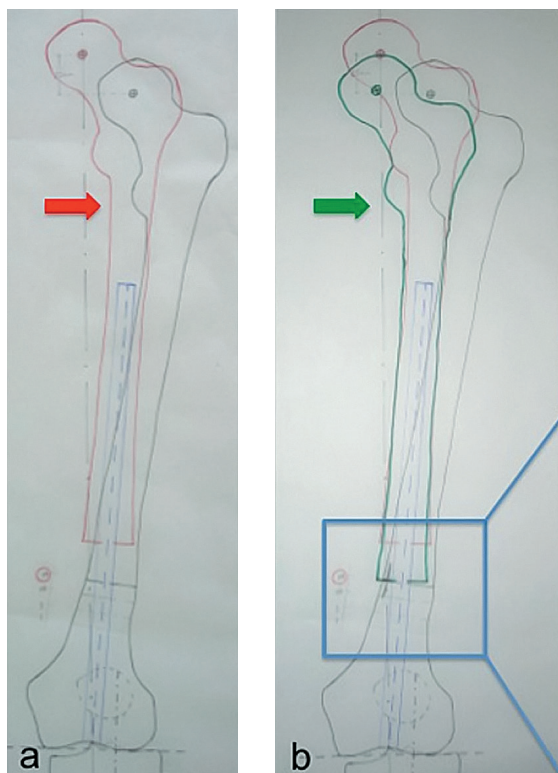


Abb. 2 aus →26:

Das Prinzip der umgekehrten Planungsmethode besteht darin²², in einem ersten Schritt das gewünschte Endergebnis (roter Pfeil) nach Deformitätskorrektur und Verlängerung zu planen. Anschliessend wird der Verlängerungsvorgang grafisch umgedreht (grüner Pfeil) und die entsprechende Implantatposition sowie die Segmenttranslation (Inset) bestimmt (b). Die minutiöse Umsetzung der präoperativen Planung (Inset von b) ist von grösster Bedeutung (d). Daher ist die Verwendung von geraden starren Reibahlen unumgänglich, um den Markraum vorzubereiten und das Implantat entsprechend der präoperativen Planung zu positionieren(c).



Technische Details zu dem Fitbone® Nagel

Der Fitbone® (primär Wittenstein Intens, Igersheim, Deutschland, jetzt Orthofix, S. R. L., Milan, Italy) ist ein motorisierter Stahlnagel¹⁵ (Abb. 1). Sein vollständig implantierter, hermetisch gekapselter elektromagnetischer Motor liefert ein Drehmoment (1800 N Spitzenkraft. Das ist das Doppelte der Kraft, die zur Distraction von Oberschenkelknochen erforderlich ist)^{31,32}. Die Kraft wird durch einen Getriebe- und Spindelmechanismus in eine axiale Bewegung umgewandelt. Der Patient oder die Patientin aktiviert und steuert das System mit einem Sender (Induktionsstrom) über ein subkutanes Empfangssystem (Empfangsantenne). Es stehen zwei Nageltypen zur Verfügung: Der gerade Nagel Fitbone® SAA (Slide Active Actuator) für die antegrade Femurplatzierung, hat ein Gleitloch, einen Aussendurchmesser von 13 mm und ist in Längen zwischen 260 und 520 mm erhältlich. Eine Verlängerung von bis zu 85 mm und ein Knochen-Transport von bis zu 200 mm sind möglich. Eine neuere Entwicklung ist der Fitbone® FSA (Femur segment actuator) und TSA (Tibia segment actuator) für Knochen-Transport und Verlängerung.

Der häufiger genutzte Fitbone® TAA-Nagel (Telescope Active Actuator) ist eine Teleskopversion mit einem Durchmesser von 11 mm im Schaft und 12 mm in Gelenknähe (Abb. 1). Es gibt eine gerade 24,5 cm / 22,5 cm lange Version für die retrograde Insertion in den Oberschenkelknochen und eine gebogene 22,5 cm lange Version mit Herzog-Winkel für die anterograde Platzierung in der Tibia. Desweiteren gibt es mittlerweile schmalere Nägel mit einem Schaftdurchmesser von 9 mm und kürzere Versionen bis zu 18 cm. Je nach Typ können Verlängerungen von bis zu 80 mm im Femur und 60 mm in der Tibia erreicht werden. Massgeschneiderte Nägel, z. B. für Stumpfverlängerungen nach Tumorresektionen, sind möglich. Das Center of Excellence-Lizenzprogramm des primären Unternehmens beschränkte die Verwendung auf eine Einrichtung pro Land und wurde nun mit Übernahme durch die neue Firma aufgegeben. Somit kann dieses System nun nach einer Einweisung von jedem, in Kalusdistraction erfahrenen Orthopädischen Chirurgen, angewandt werden. In klinischen Serien wurde über eine hohe Zuverlässigkeit und Erfolgsrate der Implantate durch die Center of Excellence berichtet.^{7,33-36}

Eigene Operationsresultate und Vergleich mit der Literatur

Wir publizierten unsere ersten 32 konsekutiven Patienten im Zeitraum von September 2006 bis Dezember 2008 mit einem mittleren Alter von 17 Jahren (IQR: 15-19), die mit einem vollständig implantierbaren, motorisierten intramedullären Verlängerungsvorrichtung (Fitbone®) in der Schweiz zum ersten Mal behandelt wurden. Die mediane Beinlängendiskrepanz betrug 35 mm (IQR: 30-44) am Oberschenkel (n=21) und 28 mm (IQR: 25-30) an der Tibia (n=11) (siehe Fallbeispiel Abb. 3 und 4). Die Beinverlängerung war in 30 von 32 Fällen erfolgreich ohne relevante Restdiskrepanz (± 5 mm). Es wurden keine intraoperativen Komplikationen beobachtet. Der Konsolidierungsindex war signifikant unterschiedlich ($p=0,04$) zwischen der femoralen Verlängerung (durchschnittlich 35 Tage/cm) und tibialer Verlängerung (durchschnittlich 48 Tage/cm), war aber nicht abhängig vom Alter (älter/jünger als 16 Jahre) oder früheren Operationen an der betroffenen Extremität⁷.

Eine postoperative Komplikationsrate von 12,5% in unserer Serie (4 von 32 Patienten) deckt sich mit den Ergebnissen von Baumgart et al.³⁴, die über eine Komplikationsrate von 13% bei einer grösseren Anzahl von Patientinnen und Patienten (n=150) berichteten, die mit Fitbone® TAA- und SAA-Nägeln behandelt wurden. Diese niedrigen Komplikationsraten sind möglicherweise auf den elektronisch betätigten Verlängerungsmechanismus und seine zuverlässige Kontrollierbarkeit mit gleichbleibenden Distaktionsraten zurückzuführen. Eine direkte Vergleichsstudie 2015 zwischen dem Fitbone® Nagel und dem Fixateur externe zeigte signifikant niedrigere Komplikationsraten beim Nagel von 26% als beim Fixateur externe mit 60%.³⁵ Die Komplikationsraten bei externen Fixateuren reichen von 24% bis 117%^{23,37} und von 11% bis 47%^{17,18,38} für mechanisch angetriebene intramedulläre Geräte, abhängig von der Distaktionslänge und der Erfahrung des Chirurgen.

Neuere vergleichende Daten von Horn und Kollegen zeigten 2019 gleichwertige Resultate beider aktuellen motorisierten Distaktionsnägel (Precise® und Fitbone®) mit gleichen Komplikationsraten von je 16% bei gleicher durchschnittlicher Verlängerungstrecke von 40 mm und ähnlichem Patientenkollektiv²⁹.

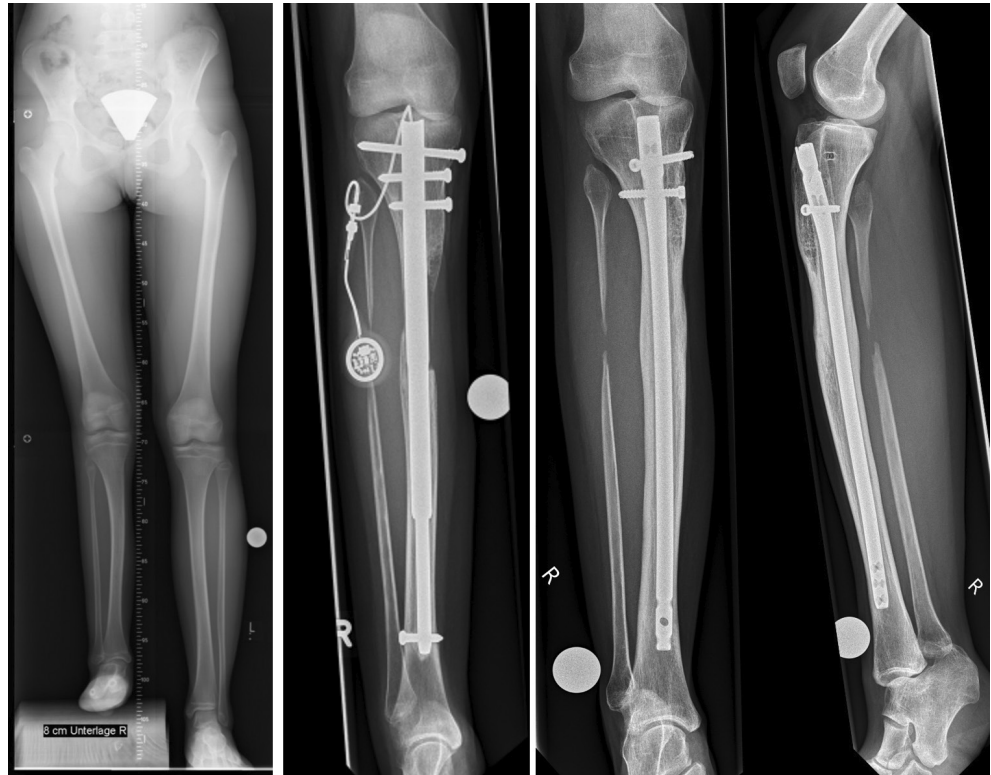


Abb. 3 (von links nach rechts): Ganzbeinaufnahme, 16-jähriges Mädchen mit fibulärem Längsdefekt und fehlenden Strahlen III-V mit Kugeltalus und konsekutiver Beinlängendifferenz von -6.5 cm – Implantation und Distraction von 5.5 cm mit einem Fitbone TAA – Ausheilung und Sicherung der unteren Extremität mit intramedullären Traumanägeln – Patientin hat so keine Restriktionen im Bereich der Belastung

Neben der Knochenverlängerung ist natürlich auch die Frage wichtig, was mit den Muskeln passiert, welche auch verlängert werden. Funktionell fanden wir in unserer Kraftstudie postoperativ in Bezug auf die Verlängerung und den Effekt auf die Muskulatur folgendes heraus: Es blieb ein signifikanter Unterschied für das maximale isokinetische Drehmoment der Extensoren (22 %) postoperativ (mind. zwei Jahre) zwischen dem verlängerten und dem normalen Bein (präop 15%), was möglicherweise auf die Muskelreaktion auf das Distraktionsverfahren selbst in Form von höherer Steifigkeit, weniger sofortige Verschiebung und inkonsistente Kraftrelaxationseigenschaften schließen lässt. Dies bedeutet, dass sich die Physiotherapie nach einer Gliedmassenverlängerung vor allem auf die Streckmuskeln konzentrieren sollte, um Kraftverluste zu kompensieren⁸.

Schlussfolgerung und Zukunftsaussichten

Intramedulläre Verlängerungsnägel sind eine moderne und für die Patienten komfortablere Alternative zu externen Fixateuren, ihr Einsatz kann aber durch anatomische Besonderheiten limitiert sein. Dank der Fortschritte bei den präoperativen Planungsmethoden und den Operationstechniken können jedoch auch komplexe Deformitäten mit diesen Implantaten behandelt werden.²⁶ Die Verwendung von starren Reibbahnen und Hülssen zum Schutz der Weichteile sowie eine sorgfältige Umsetzung der präoperativen Planung sind dabei von grösster Bedeutung. Eine zweite Osteotomie und die Fixierung mit einer Verriegelungsplatte können auch bei mehrstufigen Deformitäten den Einsatz externer Fixateure vermeiden helfen.²⁸ Dennoch ist bei Patientinnen und Patienten mit ausgeprägten Winkeldeformitäten oder offenen Wachstumsfugen der Einsatz von externen Fixateuren wie dem TSFTM manchmal sinnvoll oder sogar



Abb. 4: Klinische Versorgung vor der Verlängerung mit Unterschenkel-OSG-Fuss-Orthese und Einlagen / Sohlenerhöhung am Schuh - nach Verlängerung von 5.5 cm (bewusst um Raum für die Fussprothese zu lassen!) nur noch Fussprothesenversorgung und Möglichkeit des Tragens von handelsüblichen Schuhen

unvermeidlich. Bei Patientinnen und Patienten, die die anatomischen Voraussetzungen erfüllen, sind intramedulläre Verlängerungsnägel jedoch aufgrund der niedrigen Komplikationsraten und des hohen Patientenkomforts das modernste Verfahren zur Gliedmassenverlängerung in Kombination mit einer Deformitätenkorrektur.

Der nächste Schritt ist jedoch bereits getan in der Entwicklung. Bald können wir am UKBB auch Kinder mit signifikanten Beinlängendifferenzen und offenen Fugen mit einer motorisierten Platte (Fixateur interne) behandeln, so dass man in weiterer Zukunft gerade in Bezug auf Kinder vom Fixateur externe Abstand nehmen kann.

Literatur

- 1 Guichet, J.-M., et al., Lower limb-length discrepancy. An epidemiologic study. *J Clinical orthopaedics related research* 1991(272): p. 235-241.
- 2 Helling, A.-L., Leg length inequality: a prospective study of young men during their military service. *J Upsala journal of medical sciences*, 1988. 93(3): p. 245-253.
- 3 Harvey, W.F., et al., Association of leg-length inequality with knee osteoarthritis: a cohort study. *J Annals of internal medicine*, 2010. 152(5): p. 287-295.
- 4 Eyre-Brook, A., Bone-shortening for inequality of leg lengths. *British medical journal*, 1951. 1(4700): p. 222.
- 5 Hasler, C.C. and A.H. Krieg, Current concepts of leg lengthening. *Journal of children's orthopaedics*, 2012. 6(2): p. 89-104.
- 6 Bangerter, C., et al., What are the biomechanical consequences of a structural leg length discrepancy on the adolescent spine during walking? *Gait Posture*, 2019. 68: p. 506-513.
- 7 Krieg, A.H., et al., Intramedullary leg lengthening with a motorized nail: indications, challenges, and outcome in 32 patients. *Acta orthopaedica*, 2011. 82(3): p. 344-350.
- 8 Krieg, A.H., et al., Gain of length-loss of strength? Alteration in muscle strength after femoral leg lengthening in young patients: a prospective longitudinal observational study. *J Pediatr Orthop B*, 2018. 27(5): p. 399-403.

- 9 Paley, D., et al., Femoral lengthening over an intramedullary nail. A matched-case comparison with Ilizarov femoral lengthening. *JBJS Essent Surg Tech*, 1997. 79(10): p. 1464–80.
- 10 Codivilla, A., On the means of lengthening, in the lower limbs, the muscles and tissues which are shortened through deformity. *JBJS*, 1905. 2(4): p. 353–369.
- 11 Ombredanne, L., Allongement d'un fémur sur un membre trop court. *Bull Mém Soc Chir Paris*, 1913. 39: p. 1177–1180.
- 12 Wittmoser, R., Pressure osteosynthesis. *Langenbecks Archiv für klinische Chirurgie ... vereinigt mit Deutsche Zeitschrift für Chirurgie*, 1953. 276: p. 229–231.
- 13 Götz, J. and W. Schellmann, Continuous lengthening of the femur with intramedullary stabilisation. *Archiv für Orthopädische und Unfallchirurgie*, 1975. 82(4): p. 305–310.
- 14 Witt, A., et al., An implantable femur distractor for operative leg lengthening (author's transl). *Archives of orthopaedic traumatic surgery*, 1978. 92(4): p. 291–296.
- 15 Baumgart, R., A. Betz, and L. Schweiberer, A fully implantable motorized intramedullary nail for limb lengthening and bone transport. *Clinical orthopaedics related research*, 1997(343): p. 135–143.
- 16 Guichet, J., Leg lengthening and correction of deformity using the femoral Albizzia nail. *Der Orthopäde*, 1999. 28(12): p. 1066–1077.
- 17 Cole, J.D., et al., The intramedullary skeletal kinetic distractor (ISKD): first clinical results of a new intramedullary nail for lengthening of the femur and tibia. *Injury*, 2001. 32: p. 129–139.
- 18 Guichet, J.-M., et al., Gradual femoral lengthening with the Albizzia intramedullary nail. *JBJS*, 2003. 85(5): p. 838–848.
- 19 Schiedel, F.M., et al., How precise is the PRECICE compared to the ISKD in intramedullary limb lengthening? Reliability and safety in 26 procedures. *Acta orthopaedica*, 2014. 85(3): p. 293–298.
- 20 Thaller, P.H., et al., Limb lengthening with fully implantable magnetically actuated mechanical nails (PHENIX®)—Preliminary results. *Injury*, 2014. 45: p. S60–S65.
- 21 Neel, M.D., et al., Use of a smooth press-fit stem preserves physeal growth after tumor resection. *Clinical Orthopaedics Related Research*, 2004. 426: p. 125–128.
- 22 Baumgart, R., The reverse planning method for lengthening of the lower limb using a straight intramedullary nail with or without deformity correction. *Operative Orthopädie und Traumatologie*, 2009. 21(2): p. 221–233.
- 23 Paley, D., Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clinical Orthopaedics Related Research*, 1990. 250: p. 81–104.
- 24 Manner, H.M., et al., Accuracy of complex lower-limb deformity correction with external fixation: a comparison of the Taylor Spatial Frame with the Ilizarov ring fixator. *Journal of children's orthopaedics*, 2007. 1(1): p. 55–61.
- 25 Dubousset, J., et al., EOS stereo-radiography system: whole-body simultaneous anteroposterior and lateral radiographs with very low radiation dose. *Revue de chirurgie orthopédique et réparatrice de l'appareil moteur*, 2007. 93(6 Suppl): p. 141–143.
- 26 Lenze, U. and A.H. Krieg, Intramedullary lengthening nails: can we also correct deformities? *J Child Orthop*, 2016. 10(6): p. 511–516.
- 27 Maffulli, N., U. Nele, and L. Matarazzo, Changes in knee motion following femoral and tibial lengthening using the Ilizarov apparatus: a cohort study. *Journal of Orthopaedic Science*, 2001. 6(4): p. 333–338.
- 28 Steiger, C.N., U. Lenze, and A.H. Krieg, A new technique for correction of leg length discrepancies in combination with complex axis deformities of the lower limb using a lengthening nail and a locking plate. *J Child Orthop*, 2018. 12(5): p. 515–525.
- 29 Horn, J., et al., Limb lengthening and deformity correction with externally controlled motorized intramedullary nails: evaluation of 50 consecutive lengthenings. *Acta orthopaedica*, 2019. 90(1): p. 81–87.
- 30 Thaller, P.H., F. Wolf, and M. Kucukkaya, Surgical techniques for lengthening and deformity correction of the tibia with lengthening nails. *Techniques in Orthopaedics*, 2014. 29(3): p. 150–157.
- 31 Younger, A., W. Mackenzie, and J. Morrison, Femoral forces during limb lengthening in children. *Clinical orthopaedics related research*, 1994(301): p. 55–63.
- 32 Wolfson, N., et al., Force and stiffness changes during Ilizarov leg lengthening. *Clinical orthopaedics related research*, 1990(250): p. 58–60.
- 33 Krieg, A.H., B.M. Speth, and B.K. Foster, Leg lengthening with a motorized nail in adolescents. *J Clinical orthopaedics related research* 2008. 466(1): p. 189–197.
- 34 Baumgart, R., et al., A fully implantable, programmable distraction nail (Fitbone)—new perspectives for corrective and reconstructive limb surgery, in *Practice of intramedullary locked nails*. 2006, Springer. p. 189–198.
- 35 Horn, J., et al., Femoral lengthening with a motorized intramedullary nail: A matched-pair comparison with external ring fixator lengthening in 30 cases. *Acta Orthopaedica*, 2015. 86(2): p. 248–256.
- 36 Accadbled, F., et al., Bone lengthening using the Fitbone® motorized intramedullary nail: The first experience in France. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2016. 102(2): p. 217–22.
- 37 Blondel, B., et al., Limb lengthening and deformity correction in children using hexapodal external fixation: preliminary results for 36 cases. *Orthopaedics Traumatology: Surgery Research*, 2009. 95(6): p. 425–430.
- 38 Leidinger, B., W. Winkelmann, and R. Roedl, Limb lengthening with a fully implantable mechanical distraction intramedullary nail. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*, 2006. 144(4): p. 419–426.