

Orthopäde 2019 · 48:563–571
<https://doi.org/10.1007/s00132-019-03753-2>
 Online publiziert: 23. Mai 2019
 © Der/die Autor(en) 2019



R. Windhager · P. Funovics · J. Panotopoulos · G. Hobusch · M. Schinhan

Universitätsklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Medizinische Universität Wien, Wien, Österreich

Wachstumsprothesen nach Sarkomresektionen im Kindes- und Jugendalter

Bei der Behandlung eines Sarkoms im Kindesalter sind Wachstumsprothesen eine wichtige Alternative zu Amputation und Umkehrplastik. Mittlerweile gibt es mehrere Systeme, die entweder invasiv oder nichtinvasiv verlängerbar sind. Das Ziel dieses Beitrages ist es, neben der Indikationsstellung und den Erfolgsaussichten die altersspezifischen Probleme aufzuzeigen und Lösungsmöglichkeiten darzustellen.

Einleitung

Während Amputationen noch vor 40 Jahren die zentrale Säule in der chirurgischen Sarkombehandlung bei Lokalisation in den Extremitäten darstellten, wurde nach Einführung effizienter adjuvanter und neoadjuvanter Chemotherapien die Indikation zu ablativen Verfahren sukzessive zugunsten der Extremitäten erhaltenden Chirurgie geändert. Für die Wiederherstellung des resezierten Knochensegmentes wurden zahlreiche Rekonstruktionsverfahren angewendet, wobei sich für die Rekonstruktion von Gelenken der endoprothetische segmentale Gelenkersatz durchgesetzt hat. Erfahrungen, die mit individuell angefertigten Endoprothesen gewonnen wurden, konnten in die Entwicklung von modularen Tumorsystemen eingebracht werden, die eine unmittelbare Verfügbarkeit im Operationssaal gewährleisten.

Bei Kindern und Jugendlichen ist die endoprothetische Rekonstruktion des resezierten Knochenabschnittes respektive Gelenkteiles durch die Wegnahme zumindest einer Wachstumsfuge

und der daraus resultierenden Beinlängendifferenz weiter erschwert. Mit der Einführung von teleskopartig verlängerbaren Endoprothesen, den sogenannten Wachstumsprothesen, sollte diesem Umstand Rechnung getragen werden und die Indikation zur Extremitätenerhaltung auch in das Kindesalter ausgedehnt werden. Interessant ist, dass bereits 1976 erste Wachstumsprothesen entwickelt wurden, nur 1 Jahr nach erstmaliger Anwendung der Umkehrplastik nach Borgreeve zur Behandlung kniegelenksnaher Sarkome im Wachstumsalter an der Universitätsklinik für Orthopädie in Wien [15]. Die deutlich erhöhte Reoperationsrate von Wachstumsprothesen sowie die eingeschränkte Sportfähigkeit lassen die Umkehrplastik auch heutzutage als wichtige Alternative zur Sarkombehandlung im Kleinkindesalter erscheinen.

Indikationsstellung

Wachstumsprothesen kommen nahezu ausschließlich im Bereich der unteren Extremität und hier vor allem bei kniegelenksnahen Tumoren infrage. Verkürzungen nach endoprothetischem Ersatz im Bereich der oberen Extremität haben nur geringe bis gar keine funktionellen Nachteile und werden auch vom kosmetischen Aspekt der Verkürzung sehr gut toleriert.

Unter Berücksichtigung onkologisch-chirurgischer Kriterien sollte eine ausreichende Muskelerhaltung gewährleistet sein, um ein zufriedenstellendes funktionelles Ergebnis zu sichern und auch die Weichteildeckung der Prothese zu gewährleisten. Durch Erstellung einer

Wachstumsprognose und Kalkulation des fehlenden Wachstums aus der resezierten Wachstumsfuge wird der notwendige Verlängerungshub der Prothese errechnet, wobei dieser besonders bei kleinen Tumoren und damit kurzen Resektionsprothesen gering ausfallen kann [1, 5, 19]. Prinzipiell werden Wachstumsprothesen nur dann angewendet, wenn das errechnete Defizit aus der resezierten Fuge mehr als 4 cm beträgt. Manche Zentren sehen die Verwendung einer Resektionsprothese auch bei 3 cm als gerechtfertigt an. In allen anderen Fällen wird durch Verwendung einer längeren Resektionsprothese ein Beinlängenüberschuss von etwa 1 bis max. 2 cm nach erfolgter Tumorsektion erzielt, der durch Schuhausgleich auf der kontralateralen Seite ausgeglichen wird.

Dieser Schuhausgleich wird anschließend auf der operierten Seite getragen, sobald das gesunde kontralaterale Bein durch aufholendes Wachstum wieder eine Überlänge erreicht hat, die aber auch durch eine Epiphyseodese auf dieser Seite dauerhaft verhindert werden kann. Da der Verlängerungshub von der Länge der Prothese und damit des

Abkürzungen

<i>GMRS</i>	Global Modular Replacement System
<i>HRMS</i>	Howmedica Modular Reconstruction System
<i>KMFTR</i>	Kotz Modular Femur Tibia Reconstruction System
<i>MRT</i>	Magnetresonanztomographie
<i>MSTS</i>	Musculoskeletal Tumor Society

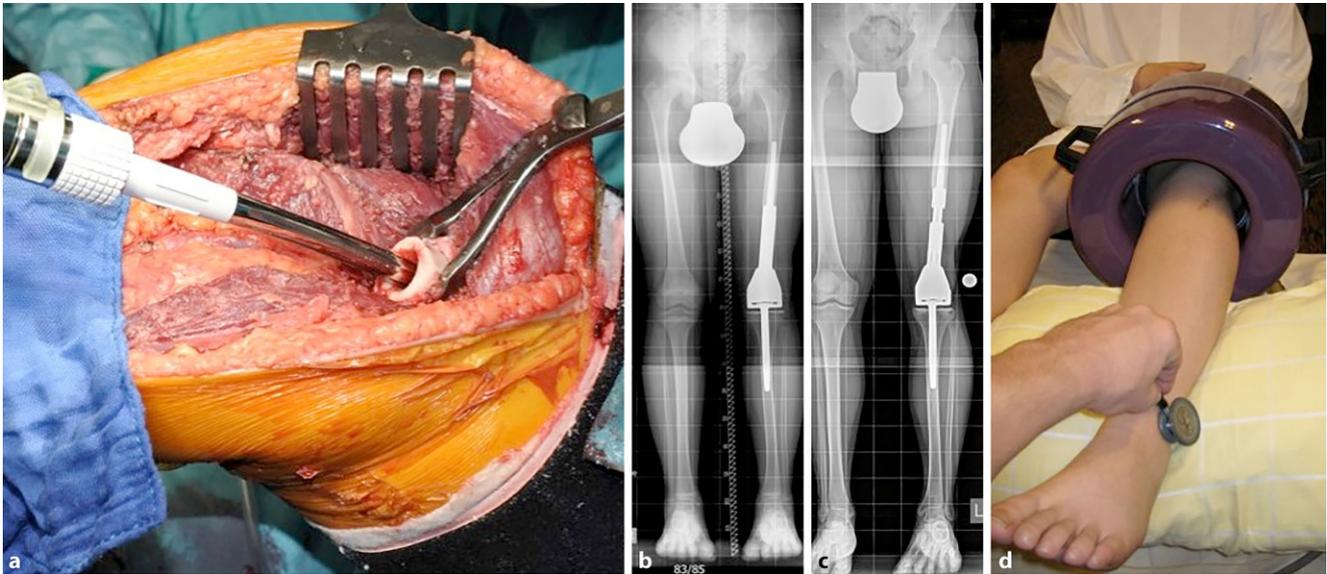


Abb. 1 ▲ Patient, der mit einer nichtinvasiv verlängerbaren Prothese im Alter von 13 Jahren nach Resektion eines Osteosarkoms im distalen Femur versorgt wurde. **a** Zementfreie Implantation der femoralen Verankerung. Die mit Hydroxylapatit beschichtete osteointegrative Fläche ist kurzstreckig angelegt, um ein „stress shielding“ zu verhindern. **b** Ausgangssituation im Alter von 13 Jahren. Der tibiale Verankerungsstiel ist glatt, um ein Restwachstum aus der proximalen Tibiafuge zu ermöglichen. **c** Am Ende des Wachstums wurde eine Verlängerung von insgesamt 53 mm (32 mm Verlängerung aus der Prothese und 21 mm Restwachstum aus der proximalen Tibia) erreicht. **d** Die Verlängerung der Prothese wird ohne Narkose mit einer Magnetfeldspule bewerkstelligt und die Aktivierung der Prothesenverlängerung durch Abhören der Geräusche, die hierbei entstehen, überprüft

resezierten Knochens abhängt, ist allein dadurch eine Alterslimitierung auf etwa 7–8 Jahren gegeben. So beträgt der Hub bei einer häufig verwendeten nichtinvasiven Wachstumsprothese und einer Länge von 170 mm, lediglich 50 mm und steigt auf 70 mm bei 190 mm Resektion und 90 mm bei 210 mm Resektionslänge an. Bei invasiv verlängerbaren modularen Systemen besteht die Möglichkeit der operativen Verkürzung des Wachstumsmoduls und Implantation eines zusätzlichen Segmentersatzes, um die Verlängerung weiter fortzusetzen. Bei aufwändigen nichtinvasiv verlängerbaren Prothesen bedürfte es eines kompletten Prothesenwechsels, da die Prothese meist mit dem Verankerungsstiel im Knochen direkt verbunden ist. Bei sehr kleinen Kindern bedeutet dies, dass während der Wachstumsphase ein oder mehrere Prothesenwechsel erforderlich werden, um entstehende Wachstumsdefekte und Distanzen von mehr als 10 cm auszugleichen, sodass die Indikation hier kritisch zu stellen ist.

Verlängerungsmechanismus

Frühe Modelle (1982–1988) der Firma Stanmore (Hertford, United Kingdom) wurden durch Einbringen von Metallkugeln in einen zentralen teleskopartig ausziehbaren Zylinder oder durch Interposition von geschlitzten Zylindern um einen zentralen Stab (1988–1994) verlängert. Spätere Modelle der Firma Stanmore oder die Lewis-Wachstumsprothese bestanden aus einer zentralen Spindel, die invasiv über ein Kegelrad mit einem Schraubendreher verlängert wurde [24]. Dieses System galt als verlässlich, bedurfte jedoch mehrerer Verlängerungsschritte zwischen 10 und 15 mm, um die Prothese zu extendieren und die Beinlänge auszugleichen. Ein System dieser Art bietet weiterhin die Firma Stryker Howmedica (Kalamazoo, MI, USA) im Rahmen des GMRS-Systems als auswechselbares Modul an [23]. Der Vorteil eines solchen Modulsystems liegt in der Möglichkeit, das Verlängerungsmodul nach Wachstumsabschluss und Ausgleich der Beinlänge eventuell gegen ein Standardmodul auszutauschen, wenngleich von allen Firmen Wachs-

tumsprothesen als definitive Implantate deklariert sind. Dies setzt die Verwendung eines osteointegrativen Verankerungsstiels im korrespondierenden Gelenkpartner trotz intakter Wachstumsfuge voraus. Wird hingegen ein glatter Verankerungsstiel mit Perforation der gegenüberliegenden Wachstumsfuge verwendet, ist ein weiteres Wachstum aus dieser Fuge möglich, jedoch ist ein Wechsel auf ein Implantat mit osteointegrativer Oberfläche nach Wachstumsende einzuplanen. Das Restwachstum, das sich aus diesen sogenannten passiven Wachstumsteilen ergibt, beträgt im Schnitt 69 % (43–100 %) im Vergleich zu einer nichtperforierten Wachstumsfuge, wobei die große Variabilität des Restwachstums nicht erklärbar und damit voraussagbar ist [1, 4, 5]. Hierdurch kann es zu einer Verschiebung der Gelenklinie kommen, da die Beinlängendifferenz mit der verlängerbaren Prothese ausgeglichen wird.

Eine weiterentwickelte Variante dieses Systems sollte eine nichtinvasive Verlängerung ohne Energiezufuhr von extern gewährleisten, in dem bei Kniebeugung ein Schalter von einem Stoßbel

im Tibiaplateau aus aktiviert wurde, der zur Aktivierung des Verlängerungsmechanismus und Extension der Prothese um 0,056 mm pro Einheit führte. Die Kontrolle der Verlängerung war bei diesem Mechanismus durch das Wechselspiel zwischen Weichteilspannung und Beugefähigkeit einer Autoregulation unterworfen, die eine überschießende Verlängerung verhinderte [16, 29]. Das System wurde durch verfeinernde Entwicklungsschritte und der damit verbundenen Komplexität nicht nur teurer, sondern auch anfälliger für mechanisches Versagen, sodass die Produktion eingestellt wurde.

Das System Repiphysis (Wright Medical Technology, IMC, Arlington, TN, USA) beinhaltet eine Feder mit Vorspannung, die im Prothesenkörper in einem Kunststoffharz eingebettet war und durch Erwärmen der Prothese in einer MRT-Spule aktiviert wurde. Hierdurch kann sich die Feder langsam ausdehnen und führt zur Verlängerung der Prothese. Das früher in den USA häufig verwendete Prothesensystem musste jedoch wegen hoher Komplikationsraten vom Markt genommen werden [25].

Derzeit stehen vor allem nichtinvasive verlängerbare Prothesen, die einerseits über eine Magnetfeldspule (Stanmore, **Abb. 1a–d**) oder aber einen elektrischen Motor, der mittels Induktionsspule über einen subkutan implantierten Sensor betätigt wird (Mutars, Implantcast, Buxtehude, Deutschland), in Verwendung.

Probleme an speziellen Lokalisationen

Wenngleich – entsprechend der Primärlokalisation der Sarkome – distale Femurresektionen die häufigste Indikation für eine Wachstumsprothese darstellen und auch hier die besten funktionellen Ergebnisse zeigen, so wird vereinzelt eine Anwendung im Bereich des proximalen Femurs bis hin zum totalen Ersatz des Femurs respektive der proximalen Tibia notwendig. Am proximalen Femur besteht einerseits die Problematik der Reinsertion der pelvitrochantären Muskulatur, die für das funktionelle Ergebnis entscheidend ist, ebenso wie die

Orthopäde 2019 · 48:563–571 <https://doi.org/10.1007/s00132-019-03753-2>
© Der/die Autor(en) 2019

R. Windhager · P. Funovics · J. Panotopoulos · G. Hobusch · M. Schinhan

Wachstumsprothesen nach Sarkomresektionen im Kindes- und Jugendalter

Zusammenfassung

Hintergrund. Wachstumsprothesen stellen eine wertvolle Alternative zur Amputation und Umkehrplastik bei Behandlung von Knochen- und Weichteilsarkomen im Kindesalter dar. In den letzten drei Dekaden wurden verschiedene Systeme eingeführt und von invasiv verlängerbaren Prothesen hin zu nichtinvasiv extendierbaren Prothesen weiterentwickelt.

Studienlage. Trotz der langen Zeitspanne finden sich nur 21 Arbeiten in Peer-Review-Journalen, die relevante Fallzahlen und Ergebnisse präsentieren. In diesen Arbeiten sind 590 Patienten mit einem durchschnittlichen Untersuchungszeitraum von 81,1 Monaten beschrieben, die im Alter von 12,6 Jahren mit einer Wachstumsprothese versorgt worden waren. Bei sehr zufriedenstellenden

funktionellen Ergebnissen (78,3 von maximal 100 MSTs-Punkten) war dennoch eine hohe Komplikationsrate mit 27,3 % Infektionen und 22,4 % mechanischen Versagen zu verzeichnen.

Komplikationen. Das über einen langen Nachbeobachtungszeitraum kontinuierlich steigende Infektionsrisiko stellt wohl den größten Nachteil dieser Methodik dar, weswegen diese Information ausführlich bei der Indikationsstellung und Differenzialindikation zu ablativen Verfahren mit den Betroffenen und den Angehörigen erörtert werden muss.

Schlüsselwörter

Osteosarkom · Ewingsarkom · Beinverlängerung · Extremitätenrekonstruktion · Endoprothese

Growing prostheses after sarcoma resection in children and adolescents

Abstract

Background. Growing prostheses are regarded as a valuable alternative to amputation and rotationplasty for the treatment of primary malignant bone and soft-tissue sarcomas in childhood. During the last three decades different devices have been introduced and technically improved from invasively to non-invasively extendable prostheses.

The current situation of studies. Despite the long period, only 21 peer-reviewed publications could be detected containing relevant numbers and results. In these papers, 590 patients with mean follow-up times of 81.1 months were reported who had been fitted with growing prostheses at the age of

12.6 years. Besides satisfactory functional results (78.3 out of 100 MSTs points) there was a high complication rate of 27.3% infections and 22.4% mechanical failure.

Complications. This increasing risk of infection over a long follow-up period, represents the biggest drawback of this method and, therefore, needs to be discussed extensively with the patients and parents when considering this procedure as an alternative to ablative surgery.

Keywords

Osteosarcoma · Ewingsarcoma · leg elongation · limb salvage · Endoprosthesis

Rekonstruktion des Femurkopfes, wofür, wenn immer möglich, ein bizentrischer Femurkopfersatz zur Anwendung kommen sollte. Bei nicht exakter Einpassung des Femurkopfes kann es aufgrund geschwächter Abduktoren und der durch Verlängerung bedingten Druckerhöhung im Bereich des Pfannenerkers zu einer Dezentrierung des Kopfes mit sekundärer Dysplasie kommen, die reorientierende Eingriffe am Becken erfor-

derlich machen können. An der proximalen Tibia hat sich die Rekonstruktion des Ligamentum patellae mit einem lokal gestielten Gastroknemiuslappen und temporärer Augmentation dieses Konstruktes in Form einer Rahmennaht mit resorbierbaren Materialien bestens bewährt (**Abb. 2a–d**).

Überschießende Weichteilreaktionen werden vor allem bei Anwendung im Alter unter 10 Jahren beobachtet und

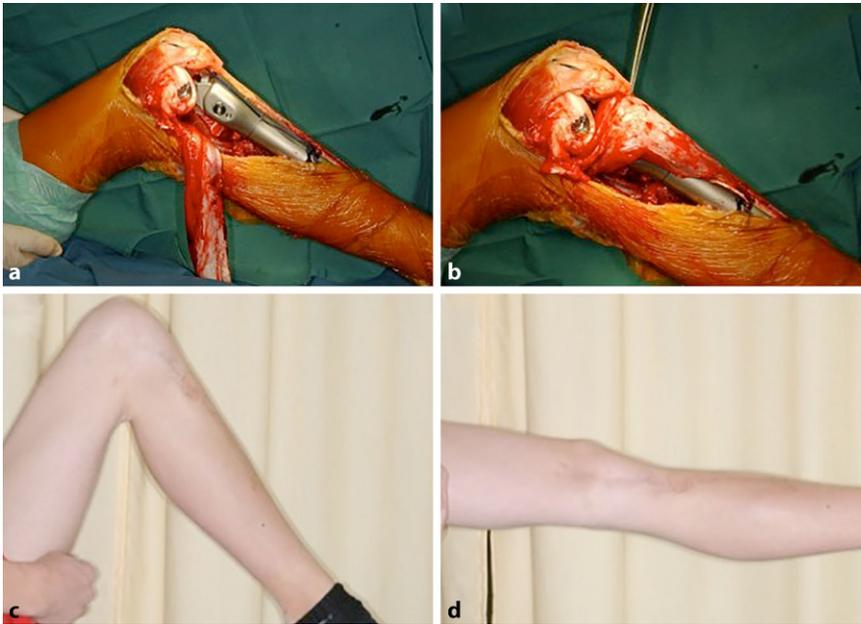


Abb. 2 ▲ **a** Rekonstruktion der proximalen Tibia mit manuell verlängerbarer Wachstumsprothese. Der Musculus gastrocnemius medial ist distal abgelöst und bis zum Gefäßstiel proximal freipräpariert. **b** Der proximal gefäßgestielte Muskel wird über die Prothese gelegt und die Faszie mit dem Ligamentum patellae, welches mit einer resorbierbaren Rahmennaht an die Prothese fixiert wurde, vernäht. **c** Aktive Flexion. **d** Aktive Extension ohne Streckdefizit

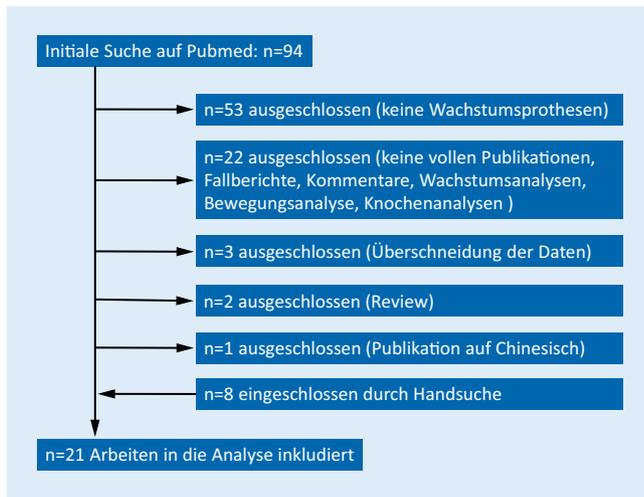


Abb. 3 ◀ Flow-Chart mit der Übersicht des systematischen Reviews

können bis zur kompletten Gelenksteife führen [30]. In diesen Fällen ist auch eine Verlängerung der Prothese, die einen zufriedenstellenden Bewegungsumfang am betroffenen Gelenk voraussetzt, nicht mehr möglich, sodass eine Arthrolyse mit Lösung der umgebenden Muskulatur und Resektion des mitunter sehr ausgeprägten Narbengewebes um die Prothese erforderlich ist, um weitere Verlängerungsschritte zu garantieren.

Ergebnisse in der Literatur

Es wurde ein systematisches Review in Pubmed unter Verwendung folgender Suchkriterien durchgeführt: „growing prostheses“ and „children“ or „KMFTR“ or „repiphysis“ or „Mutars“ or „Stammore“ or „Pafford-Lewis“ and „osteosarcoma“.

Hierbei wurden 94 Publikationen gefunden, von denen 53 vorweg exkludiert wurden, weil Wachstumsprothesen in diesen Publikationen nicht verwendet

worden sind. Weitere 22 Veröffentlichungen wurden nicht berücksichtigt, weil es sich nur um Fallberichte oder Kommentare handelte oder aber nur Analysen zu Wachstum, Bewegung oder Knochen enthielten. Da sich die Daten überschneiden haben wurden 3 Publikationen herausgenommen, sowie 2 weitere, da es sich in einem Fall um einen Review handelte und die zweite Arbeit nur auf Chinesisch verfügbar war. Weitere 8 Arbeiten wurden durch Handsuche inkludiert (Abb. 3). Somit verblieben 21 Arbeiten, die in Tab. 1 aufgelistet sind [2–4, 6, 8–13, 17, 18, 20–22, 24–28, 31].

Insgesamt sind in diesen Arbeiten 590 Patienten beschrieben mit einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 81,1 Monaten. Der Mittelwert der funktionellen Ergebnisse liegt, gemessen am MSTs-Score [7], bei 78,3 von maximal 100 Punkten.

Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei 12,6 Jahren. Die wichtigsten Komplikationsraten betreffend Infektionen respektive mechanisches Versagen betragen 27,3% bzw. 22,4%.

Invasiv verlängerbare Wachstumsprothesen

Erste Ergebnisse über Wachstumsprothesen in Peer-Review-Journals wurden von Jeff Eckardt 1993 publiziert, allerdings nur mit einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 3,1 Jahren [6]. Dies ist auch die einzige Publikation, in der die Mehrzahl der Patienten mit einer Pafford-Lewis-Prothese (LEAP Design – Lewis Expandable Adjustable Prosthesis, Arlington, TN, USA) versorgt worden sind. Trotz des kurzen Beobachtungszeitraumes traten in 10 Fällen Komplikationen auf, von denen 7 prothesenassoziiert waren, respektive durch den Verlängerungsmechanismus verursacht wurden. Die von den Autoren geforderte Überarbeitung des Designs führte schließlich auch dazu, dass aufgrund der Weiterentwicklungen dieser Prothesentyp in der Literatur nicht weiter beschrieben ist.

Eine dieser Weiterentwicklungen wurde im Rahmen des HRMS (Howmedica Modular Reconstruction System), welches 1987 eingeführt wurde [14],

fortgesetzt. Bei dem System wurde die Verlängerung wie bei der LEAP-Prothese minimal-invasiv durch einen Schraubmechanismus umgesetzt und bedurfte mehrerer Verlängerungsschritte zwischen 10 und 15 mm. Erste Ergebnisse wurden 1995 von Schiller et al. publiziert [23] und die Ergebnisse von 6 der insgesamt 20 versorgten Patienten, die das Wachstum bereits abgeschlossen hatten, analysiert. Bei einem durchschnittlichen Operationsalter von 11 Jahren (9,2–13,7) und einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 6,3 Jahren (4,3–7,6) wurden 7 Revisionen erforderlich, wobei in 3 Fällen in diesem mittleren Beobachtungszeitraum eine tiefe Infektion auftrat. Für eine durchschnittliche Verlängerungsstrecke von 13,15 cm (4,5–19,5) waren insgesamt 53 geplante Eingriffe notwendig.

In einer japanischen Sammelstudie wurden 26 von 28 Patienten, die ebenso mit einer HMRS-Wachstumsprothese versorgt worden waren, analysiert. Bei einer durchschnittlichen Nachuntersuchungszeit von 5 Jahren und 1 Monat (1–15 Jahre) fand sich in diesem Kollektiv lediglich eine Infektion. Die durchschnittliche Gesamtverlängerung betrug allerdings nur 35,4 mm, wofür im Schnitt 2,1 Eingriffe erforderlich waren. Diese geringe Zahl an Revisionseingriffen dürfte auch der Grund für die sehr geringe Infektionsrate gewesen sein [31].

» Die Autoren verweisen auf die Notwendigkeit der exakten präoperativen Aufklärung

Die längsten Ergebnisse mit einer HMRS-Wachstumsprothese finden sich in der Arbeit von Schinhan et al. 2015 [21]. In dieser Arbeit wurden 71 Patienten, die mit einer Wachstumsprothese im Alter von 10,1 Jahren (alle HMRS mit Ausnahme einer Mutars-Prothese und einer LEAP-Prothese) versorgt worden waren, über durchschnittlich 131,6 Monate (27,2–281,8 Monate) nachverfolgt. Interessanterweise fand sich in den meisten Fällen (46 % der gesamten Komplikationen) ein sogenanntes Weichteilversagen, welches entweder den Streckapparat oder aber eine Instabilität im Bereich der Hüfte

mit sekundärer Dysplasie und Dislokation betraf. In 16 % der Fälle berichten die Autoren über die Notwendigkeit einer Resektion einer derben Narbe um die gesamte Prothese, die zu einer massiven Bewegungseinschränkung und damit einer Unmöglichkeit der weiteren Verlängerung geführt hat. Die weitere Analyse zeigte ein strukturelles Versagen in 28 % der Fälle sowie eine Infektionsrate von 17 % und aseptische Lockerungen in nur 8 % aller Fälle. Letzteres ist wohl das überraschendste Ergebnis, wird doch von der Annahme ausgegangen, dass durch das diametrale Wachstum des Knochens die aseptische Lockerung bei Kindern deutlich häufiger wäre. Die Studie zeigt jedoch auch erstmals, dass für die Erzielung einer durchschnittlichen Verlängerung von 70,8 mm, 4,4 Verlängerungseingriffe pro Patient erforderlich waren, ebenso wie 2,5 Operationen pro Patient zur Behandlung der insgesamt 184 Komplikationen bei 58 Patienten. Aufgrund dessen verweisen die Autoren auch explizit auf die Notwendigkeit der exakten präoperativen Aufklärung über diese Folgeeingriffe und auch darauf, dass weitere Verbesserungen in den einzelnen Bereichen nur im direkten Vergleich mit den vorliegenden Langzeitergebnissen möglich sind. Dennoch ist aufgrund der Verlässlichkeit dieses Verlängerungsmechanismus das System weiterhin im Einsatz.

Nichtinvasiv verlängerbare Wachstumsprothesen

Die Diskrepanz zwischen Kurzeitergebnissen und mittelfristigen Ergebnissen wird auch bei der Analyse des Systems Repiphysis evident. Das System, das früher unter dem Namen Phenix (Phenix Medical, Paris, Frankreich) verwendet wurde, basiert auf einer Speicherung der Expansionsenergie in Form einer Feder, die durch nichtinvasive Erwärmungen eines Polyethylenschlauches freigegeben und damit expandiert wird. Erste Ergebnisse bei einem Nachuntersuchungszeitraum von 14 Monaten wurden 2001 von Wilkins et al. bei 6 Patienten ohne prothesenbezogene Komplikationen berichtet [28]. Weitere 18 Prothesen wurden bei 15 pädiatrischen Patienten (drei Revisionen) im Jahr 2003 von Neel et al. analysiert und

auch durchaus optimistische Ergebnisse wiedergegeben [18]. Spätere Ergebnisse zeigen jedoch mit Zunahme der Frequenz und des Nachuntersuchungszeitraumes eine deutliche Zunahme der Komplikationen.

Im Jahr 2010 berichteten Saghieh et al. von 17 Patienten, die mit einer Repiphysis für durchschnittlich 61,7 Monate beobachtet wurden und insgesamt 38 Verlängerungssitzungen mit durchschnittlich 8,6 mm erfuhren [20]. 12 dieser 17 Patienten erlitten Komplikationen, wobei 6 mechanischer Natur waren und in 3 Fällen Infektionen auftraten. In 7 Fällen wurde eine Revision erforderlich und in 3 Fällen eine neue Prothese eingesetzt.

» Selbst nichtinvasive Verlängerungsmechanismen von Wachstumsprothesen haben eine hohe Komplikationsrate

Ruggieri et al. verglichen 2013 bei 32 Patienten die Versorgungen mit 10 HMRS-, 15 Repiphysis- und 7 Stanmore-Prothesen und zeigten eine signifikant höhere Standzeit der HMRS- in Vergleich zur Repiphysis-Prothese [22]. Die Autoren schlossen, dass selbst nichtinvasive Verlängerungsmechanismen von Wachstumsprothesen mit einer durchwegs hohen Komplikationsrate behaftet sind.

Cipriano et al. beschrieben 2015 bei 6 von 12 Patienten, die mit einer Repiphysis-Prothese im Alter von 10,1 Jahren versorgt und durchschnittlich 72 Monate (26–119) nachbeobachtet wurden, 6 aseptische Lockerungen mit massivem Knochenverlust im Bereich des Verankerungsstieles. Die wohl schlechtesten Ergebnisse wurden schließlich in der Arbeit von Staals et al. 2015 veröffentlicht [25]. Von den 15 Patienten, die sie mit einer Repiphysis-Prothese versorgt hatten, konnten 10 mehr als 5 Jahre (durchschnittlich 104 Monate) nachuntersucht werden. Erstmals wurden auch hier Schmerzen während der nichtinvasiven Verlängerung beschrieben, sodass weitere Verlängerungen unter Anästhesie durchgeführt werden mussten. Bei den Patienten wurden insgesamt 9 Revisionsoperationen durchgeführt, von denen 8 durch

Tab. 1 Berücksichtigte Arbeiten aus den Peer-Review-Publikationen

Autor	Jahr	Referenz	Prothesentyp	Fallzahl	Nachuntersuchungszeitraum (Monate)	Infektionen (Anzahl der Patienten)	Mechanisches Versagen (Anzahl der Patienten)	Verstorben	Lost of follow up	MSTS Score	Alter bei Operation
Gilg et al.	2018	[8]	Stanmore	21	70	10	4	13	0	76	20
Medellin et al.	2018	[17]	Stanmore	24	158	2	5	0	0	78	11
Tsagozis et al.	2018	[27]	Stanmore	42	72	12	12	2	0	57	10
Bus et al.	2017	[2]	Mutars	105	Von 1995–2010, min. 5 Jahre	15	15	37	4	x	36
Gilg et al.	2016	[9]	Stanmore	50	64	10	4	5	0	80	10
Grimer et al.	2016	[11]	Stanmore	46 aus 564	353	60	x	302	32	x	21
Torner et al.	2016	[26]	Mutars	7	65	1	0	2	0	89	9
Cipriano et al.	2015	[3]	Repiphysis	12	72	1	3	2	0	67	10
Staals et al.	2015	[25]	Repiphysis	15	104	1	9	5	0	81	8
Schinhan et al.	2015	[21]	KMFTR: 69, Mutars: 1, Pafford-Lewis: 1	71	132	31	52	12	0	88	10
Ruggieri et al.	2013	[22]	KMFTR: 10, Repiphysis: 15, Stanmore: 7	32	49	3	2	7	0	79	9
Henderson et al.	2012	[13]	KMFTR: 17, Stanmore: 8	17	Von 2001–2007	1	1	0	0	x	11
Saghieh et al.	2010	[20]	Repiphysis	17	62	3	6	1	0	90	11
Yoshida et al.	2008	[31]	KMFTR: 26, Lewis: 1, Stanmore: 1	28	61	1	3	3	0	x	10
Gupta et al.	2006	[12]	Stanmore	7	20	0	0	1	0	60	12
Gitelis et al.	2003	[10]	Repiphysis	18	25	1	5	0	0	x	11
Neel et al.	2003	[18]	Phenix	18	22	7	0	0	0	90	11
Wilkins et al.	2001	[28]	Phenix	6	14	0	2	0	0	80	15
Cool et al.	1997	[4]	Stanmore	24	56	1	1	0	0	x	10
Schindler et al.	1997	[24]	Stanmore	18	104	1	1	4	0	78	11
Eckardt et al.	1993	[6]	Lewis: 10, Tech Medica: 2	12	37	0	7	4	0	88	9
–	–	–	–	590	81,1	7,7	6,6	–	–	78,3	12,6
				Summe	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert			Mittelwert	Mittelwert

KMFTR Kotz Modular Femur Tibia Reconstruction System, *MSTS* Musculoskeletal Tumor Society

Hier steht eine Anzeige.



Implantatversagen und eine durch aseptische Lockerung bedingt waren. Auch der Knochenverlust wird hervorgehoben, der bei 5 Fällen zu Knochenaugmentationen während der Revisionsoperation geführt hat. In der Conclusio nehmen die Autoren von der weiteren Verwendung dieser Prothese abstand. Aufgrund der sich häufenden Negativveröffentlichungen wurde die Prothese schließlich vom Markt genommen.

Mehrere Publikationen beschäftigen sich auch mit der nichtinvasiven Wachstumsprothese der Firma Stanmore, die von außen durch ein elektromagnetisches Feld angetrieben und so verlängert wird. Wie bei anderen Systemen wurden erste Publikationen mit kleiner Fallzahl und kurzer Nachbeobachtungszeit veröffentlicht. So berichten Gupta et al. 2006 von 7 Fällen, die für nur 20,2 Monate nachbeobachtet und deren Prothese um lediglich 25 mm im Durchschnitt verlängert worden ist [12]. Auch nach diesen ermutigenden Kurzeitergebnissen wurde von Gilg und Mitarbeitern 2016 über die Morbidität der nichtinvasiven Wachstumsprothese bei 50 Kindern mit 51 Prothesen berichtet [9]. Beim Durchschnittsoperationsalter von 10,4 Jahren und einer Nachbeobachtungszeit von 64 Monaten (20–145) war die Überlebensrate der Prothese bei 81,7 % nach 3 Jahren und 61,6 % nach 6 Jahren.

» Silberbeschichtete Implantate brachten keinen Benefit in Bezug auf Infektionskontrolle

Eine tiefe Infektion musste bei 19,6 % nach durchschnittlich 12,5 Monaten festgestellt werden und in 9,8 % fand sich ein Versagen des Verlängerungsmechanismus sowie ein Implantatbruch in 3,9 % der Fälle. Die Zahl der Reoperationen war mit 53 ähnlich wie in anderen Publikationen, wobei die Amputationsrate mit 14 % (3 wegen Lokalrezidiv und 4 wegen Infektionen) eher höher angesetzt ist. Die Autoren heben hervor, dass bei guten funktionellen Ergebnissen und Kompensation der Beinlänge, die Infektion nach wie vor das größte Risiko darstellt, wobei die proximale Tibia das höchste Risiko birgt. Die Ergebnisse der Versorgung mit

einer Wachstumsprothese in dieser Region wird in einer eigenen Arbeit von Tsagozis et al. 2018 bei 42 Patienten retrospektiv analysiert [27]. Als Besonderes hervorzuheben ist, dass in dieser Studie die Versorgung mit nichtinvasiven Verlängerungsprothesen mit einer höheren Infektionsrate als bei konventionellen Verlängerungsprothesen behaftet und mit einer höheren Amputationsrate verbunden war. Trotz guter funktioneller Ergebnisse betrug die Prothesenstandzeit nach 5 Jahren lediglich 55 % und nur 25 % nach 10 Jahren. Hervorzuheben ist auch, dass die Versorgung mit silberbeschichteten Implantaten in dieser Lokalisation keinen Benefit in Bezug auf Infektionskontrolle und damit Prothesenüberleben brachte.

Dieser Nachteil der nichtinvasiv verlängerbaren Prothesen konnte in der Analyse von Medellin et al. von 24 totalen Femurversorgungen in einem Nachuntersuchungszeitraum von 13,2 Jahren (7 Monate bis 29,25 Jahre) nicht nachvollzogen werden [17]. Es fanden sich keine Diskrepanzen in Bezug auf verschiedene Komplikationsarten. Allerdings waren in der Gruppe der minimal-invasiv verlängerbaren totalen Femurprothesen eine genauere Einstellung der Beinlängendifferenz, eine bessere Kniegelenkbeweglichkeit und eine verbesserte Gesamtfunktion zu verzeichnen. Die Prothesenstandzeiten nach 5, 10 sowie 20 Jahren betragen jeweils 79 % für minimal-invasiv verlängerbare Stanmore-Prothesen und 85 % nach 5 sowie 70 % nach 10 Jahren für nichtinvasiv verlängerbare Wachstumsprothesen der Firma Stanmore.

Schließlich wurde in der Arbeit von Gilg et al. die Anwendung der verlängerbaren Prothesen bei Revisionsoperationen mit massiver Beinlängendifferenz bei 21 Patienten und einem durchschnittlichen Alter von 20 Jahren (10–41) analysiert [9]. Bei einer Nachuntersuchungszeit von 70 Monaten (17–128) wurde eine durchschnittliche Verlängerung von 51 mm (5–140) erzielt und eine Prothesenstandzeit von 75 % nach 2 Jahren und 55 % nach 5 Jahren beschrieben.

Mit der Kostenanalyse beschäftigt sich schließlich die Arbeit von Henderson et al. und vergleicht 17 Patienten, die

mit einer minimal-invasiv verlängerbaren Prothese und 8 Patienten, die mit einer nichtinvasiv verlängerbaren Prothese versorgt wurden [13]. Unter Zugrundelegung US-amerikanischer Verhältnisse schließen die Autoren, dass nichtinvasiv verlängerbare Prothesen trotz höherer Initialkosten aufgrund fehlender Verlängerungseingriffe günstiger abschneiden als minimal-invasiv verlängerbare Prothesen.

Abschließend muss festgehalten werden, dass trotz intensiver Recherche keine Publikationen über die verlängerbare Prothese von Mutars mit größeren Fallzahlen gefunden werden konnte.

Fazit für die Praxis

- Wachstumsprothesen stellen eine bewährte Methode und Alternative zu ablativen Verfahren wie Amputation und Umkehrplastik bei der Behandlung von Sarkomen im Kindes- und Jugendalter dar.
- Das über einen langen Zeitraum zu beobachtende hohe Infektionsrisiko bedarf einer ausführlichen Erörterung im Rahmen des Aufklärungsgesprächs.
- Aufgrund der vielfältigen Komplikationsmöglichkeiten sollte zur Reduktion der Reoperationsfrequenz diese Versorgung nur in spezialisierten Zentren durchgeführt werden.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. R. Windhager

Universitätsklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Medizinische Universität Wien
Währinger Gürtel 18-20, 1090 Wien, Österreich
reinhard.windhager@meduniwien.ac.at

Funding. Open access funding provided by Medical University of Vienna.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. R. Windhager ist als Referent bzw. Berater für die Firma Stryker tätig, zu der mittlerweile auch die Stanmore Implants Worldwide gehört, und erhält leistungsbezogene Honorare für Vortrags- und Beratungstätigkeit. P. Funovics, J. Panotopoulos, G. Hobusch und M. Schinhan geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

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

- Anderson M, Green WT, Messner MB (1963) Growth and predictions of growth in the lower extremities. *J Bone Joint Surg Am* 45-A:1–14
- Bus MP, van de Sande MA, Fiocco M, Schaap GR, Bramer JA, Dijkstra PD (2017) What are the long-term results of MUTARS[®] modular Endoprostheses for reconstruction of tumor resection of the distal femur and proximal tibia? *Clin Orthop Relat Res* 475(3):708–718
- Cipriano CA, Gruzina IS, Frank RM, Gitelis S, Virkus WW (2015) Frequent complications and severe bone loss associated with the repiphysis expandable distal femoral prosthesis. *Clin Orthop Relat Res* 473(3):831–838
- Cool WP, Carter SR, Grimer RJ, Tillman RM, Walker PS (1997) Growth after extendible endoprosthetic replacement of the distal femur. *J Bone Joint Surg Br* 79(6):938–942
- Dominkus M, Krepler P, Schwameis E, Windhager R, Kotz R (2001) Growth prediction in extendable tumor prostheses in children. *Clin Orthop Relat Res* 390:212–220
- Eckardt JJ, Safran MR, Eilber FR, Rosen G, Kabo JM (1993) Expandable endoprosthetic reconstruction of the skeletally immature after malignant bone tumor resection. *Clin Orthop Relat Res* 297:188–202
- Enneking WF, Dunham W, Gebhardt MC, Malawar M, Pritchard DJ (1993) A system for the functional evaluation of reconstructive procedures after surgical treatment of tumors of the musculoskeletal system. *Clin Orthop Relat Res* 286:241–246
- Gilg MM, Gaston CL, Jeys L, Abudu A, Tillman RM, Stevenson JD, Grimer RJ, Parry MC (2018) The use of a non-invasive extendable prosthesis at the time of revision arthroplasty. *Bone Joint J* 100-B(3):370–377
- Gilg MM, Gaston CL, Parry MC, Jeys L, Abudu A, Tillman RM, Carter SR, Grimer RJ (2016) What is the morbidity of a non-invasive growing prosthesis? *Bone Joint J* 98-B(12):1697–1703
- Gitelis S, Neel MD, Wilkins RM, Rao BN, Kelly CM, Yao TK (2003) The use of a closed expandable prosthesis for pediatric sarcomas. *Chir Organi Mov* 88(4):327–333
- Grimer RJ, Aydin BK, Wafa H, Carter SR, Jeys L, Abudu A, Parry M (2016) Very long-term outcomes after endoprosthetic replacement for malignant tumours of bone. *Bone Joint J* 98-B(6):857–864
- Gupta A, Meswania J, Pollock R, Cannon SR, Briggs TW, Taylor S, Blunn G (2006) Non-invasive distal femoral expandable endoprosthesis for limb-salvage surgery in paediatric tumours. *J Bone Joint Surg Br* 88(5):649–654
- Henderson ER, Pepper AM, Letson GD (2012) What are estimated reimbursements for lower extremity prostheses capable of surgical and nonsurgical lengthening? *Clin Orthop Relat Res* 470(4):1194–1203
- Kotz R, Ritschl P, Krojepe D, Capanna R (1990) Cementless modular prostheses. Basic concepts and evolution. *Chir Organi Mov* 75(1 Suppl):177–178
- Kotz R, Salzer M (1982) Rotation-plasty for childhood osteosarcoma of the distal part of the femur. *J Bone Joint Surg Am* 64(7):959–969
- Kotz R, Windhager R, Dominkus M, Robioneck B, Müller-Daniels H (2000) A self-extending paediatric leg implant. *Nature* 406(6792):143–144
- Medellin MR, Fujiwara T, Clark R, Jeys LM (2018) Comparison of minimally invasive and non-invasive systems in lengthening total femoral prostheses. *Bone Joint J* 100-B(12):1640–1646
- Neel MD, Wilkins RM, Rao BN, Kelly CM (2003) Early Multicenter experience with a noninvasive expandable prosthesis. *Clin Orthop Relat Res* 415:72–81
- Paley D, Bhawe A, Herzenberg JE, Bowen JR (2000) Multiplier method for predicting limb-length discrepancy. *J Bone Joint Surg Am* 82-A(10):1432–1446
- Saghieh S, Abboud MR, Muwakkit SA, Saab R, Rao B, Haidar R (2010) Seven-year experience of using Repiphysis expandable prosthesis in children with bone tumors. *Pediatr Blood Cancer* 55(3):457–463
- Schinhan M, Tiefenboeck T, Funovics P, Sevelida F, Kotz R, Windhager R (2015) Extendible prostheses for children after resection of primary malignant Bone tumor: twenty-seven years of experience. *J Bone Joint Surg Am* 97(19):1585–1591
- Ruggieri P, Mavrogenis AF, Pala E, Romantini M, Manfrini M, Mercuri M (2013) Outcome of expandable prostheses in children. *J Pediatr Orthop* 33(3):244–253
- Schiller C, Windhager R, Fellinger EJ, Salzer-Kuntschik M, Kaider A, Kotz R (1995) Extendable tumour endoprostheses for the leg in children. *J Bone Joint Surg Br* 77(4):608–614
- Schindler OS, Cannon SR, Briggs TW, Blunn GW (1997) Stanmore custom-made extendible distal femoral replacements. Clinical experience in children with primary malignant bone tumours. *J Bone Joint Surg Br* 79(6):927–937
- Staaels EL, Colangeli M, Ali N, Casanova JM, Donati DM, Manfrini M (2015) Are complications associated with the Repiphysis[®] expandable distal femoral prosthesis acceptable for its continued use? *Clin Orthop Relat Res* 473(9):3003–3013
- Torner F, Segur JM, Ullot R, Soldado F, Domenech P, DeSena L, Knorr J (2016) Non-invasive expandable prosthesis in musculoskeletal oncology paediatric patients for the distal and proximal femur. First results. *Int Orthop* 40(8):1683–1688
- Tsagozis P, Parry M, Grimer R (2018) High complication rate after extendible endoprosthetic replacement of the proximal tibia: a retrospective study of 42 consecutive children. *Acta Orthop* 89(6):678–682. <https://doi.org/10.1080/17453674.2018.1534320>
- Wilkins RM, Soubeiran A (2001) The phenix expandable prosthesis, early American experience. *Clin Orthop Relat Res* 382:51–58
- Windhager R, Bien M, Müller H, Kotz R (1995) Wachstumsprothese für Kinder mit automatischer Verlängerung. *Med-orthop Tech* 115:152–154
- Windhager R, Nemethova M, Mutsaers S, Lang S, Kotz R, Kitzmueller E, Lubec G (1998) Evidence for the involvement of the hydroxyl radical in the pathogenesis of excessive connective tissue proliferation in patients with tumor-endoprostheses. *Life Sci* 62(14):1261–1269
- Yoshida Y, Iwata S, Ueda T, Kawai A, Isu K, Ryu J (2008) Current state of extendable prostheses for the lower limb in Japan. *Surg Oncol* 17(2):65–71