

Christof Radler¹, Gabriel T. Mindler¹, Rudolf Ganger¹

Korrektur von Achsabweichungen und Längendifferenzen der unteren Extremität im Wachstumsalter

Wachstumslenkung kompakt

Correction of axial malalignment and leg length discrepancy of the lower extremities during growth

Guided growth in a nutshell

Zusammenfassung: Kindliche Achsabweichungen und Längendifferenzen an der unteren Extremität stellen häufige Vorstellungsgründe in der orthopädischen Praxis und an kinderorthopädischen Zentren dar. Dabei ist die Unterscheidung des physiologischen vom pathologischen Bereich entscheidend. Oftmals ist die Observanz und Beratung der Eltern vorrangig gegenüber operativen Schritten. Liegt eine behandlungsbedürftige Deformität vor, ist die Therapie mit minimalinvasiven, wachstumslenkenden Operationen eine elegante und von den Kindern gut akzeptierte Möglichkeit zur Korrektur. Dabei müssen einige Faktoren wie Grunderkrankung, Ausmaß der Fehlstellung oder Verkürzung, das richtige Alter sowie die verschiedenen möglichen Operationstechniken bedacht werden. Die wachstumslenkenden Operationen sind technisch vergleichsweise weniger anspruchsvoll, bedürfen aber einer korrekten Indikationsstellung sowie eines intensiven Follow-ups. Nach Abschluss des Wachstums oder bei ausgeprägten Fehlstellungen und Verkürzungen stehen invasivere, aber dennoch höchst effektive Operationstechniken zur Deformitätenkorrektur zur Verfügung. Dabei konnten in den letzten Jahren durch die Einführung moderner Fixateure und neuer, intramedullärer Verfahren die Ergebnisse deutlich verbessert werden.

Schlüsselwörter: Wachstumslenkung, Epiphysiodese, Beinlängendifferenz, Beinachse, Achsabweichung

Zitierweise

Radler C, Mindler GT, Ganger R: Korrektur von Achsabweichungen und Längendifferenzen der unteren Extremität im Wachstumsalter. OUP 2016; 7/8: 433–445 DOI 10.3238/oup.2016.0433–0445

Einleitung

Achsabweichungen und Beinlängendifferenzen gehören neben der Hüftdyspla-

sie und Fußfehlstellungen zu den klassischen Bereichen der Kinderorthopädie. Nicht nur, weil es sich hier im wahrsten Sinn des Worts um ein Geraderichten

Summary: Malalignment of the lower extremities and limb length discrepancy are frequent causes for presentation in the orthopedic office or pediatric orthopedic outpatient clinic. Differentiating physiologic deviations from pathologic deformities is of utter importance. Frequent observation and counseling of the parents is more important than surgical interventions. If a deformity of shortening merits treatment guided growth is a very elegant and minimal invasive technique which is well accepted by the child. Various factors like the underlying pathology, the severity of shortening or malalignment, the age of the child and the different surgical options must be considered. Surgical interventions for guided growth are technically relatively simple but need the right indication and frequent follow-up. After skeletal maturity or in the presence of severe deformities or shortening more invasive but highly effect surgical techniques for deformity correction and limb lengthening are available. In the last years the results of those techniques have been significantly improved due to the introduction of modern external fixators and new intramedullary lengthening devices.

Keywords: guided growth, epiphysiodesis, leg length discrepancy, limb alignment, axial malalignment

Citation

Radler C, Mindler GT, Ganger R: Correction of axial malalignment and leg length discrepancy of the lower extremities during growth OUP 2016; 7/8: 433–445 DOI 10.3238/oup.2016.0433–0445

wie im Beispiel des orthopädischen Bäumchens von Nicolas Andry de Boisregard handelt, sondern auch, da diese beiden Probleme sehr häufig und meist

¹ Abteilung für Kinderorthopädie und Fußchirurgie, Orthopädisches Spital Speising – Wien

schon mit freiem Auge zu beobachten sind.

So sehen wir uns als Orthopäden regelmäßig mit Eltern oder Großeltern konfrontiert, die uns ihre Kinder mit krummen Beinen – ganz gleich, ob X- oder O-Beine – präsentieren, oft viel am Gangbild und insgesamt an der Haltung des Nachwuchses auszusetzen haben und nur schwer davon zu überzeugen sind, dass all dies in verschiedenen Phasen des Wachstums durchaus als normal betrachtet werden kann. Umso wichtiger ist es, von den beiden Schenkeln der Gaußschen Normalverteilung Fehlstellungen und/oder Verkürzungen abzugrenzen, die eine tatsächliche pathologische Ursache haben und sich nicht von selbst korrigieren, sondern im Gegenteil an Schwere und Ausmaß zunehmen können.

Diese Differenzierung ist in der Praxis in vielen Fällen gar nicht so einfach und daher wird im Zweifelsfall oft zu unnötigen diagnostischen oder fraglichen therapeutischen Maßnahmen gegriffen. Immer wieder findet sich auch heute noch die Versorgung physiologischer Fehlstellungen mit Schienen, Orthesen und orthopädischen Schuhen.

Aber nicht nur die richtige Diagnose bzw. Differenzialdiagnose gestaltet sich oft schwierig, sondern auch die Vielfalt der Therapieoptionen und besonders der Therapiezeitpunkt sind oft schwer einzuschätzen. Gerade in den letzten 10–15 Jahren hat sich in der Therapie kindlicher Beinlängendifferenzen und Abweichungen sehr viel geändert, was insbesondere mit verbesserten Operationsmethoden und neuen minimalinvasiven Techniken zusammenhängt.

Diese Übersichtsarbeit fasst die wichtigsten Ursachen, die Diagnose einschließlich bildgebender Verfahren sowie die Therapiemöglichkeiten – mit besonderem Hinblick auf die Wachstumslenkung, aber auch darüber hinaus – zusammen.

Physiologisch vs. pathologisch

Bei der Abgrenzung zwischen physiologisch und pathologisch sind die Beinlängendifferenz und die Achsabweichung gemeinsam, aber auch getrennt zu betrachten. Beinlängendifferenzen bis zu 1 cm können im Wachstum

Einseitige Achsfehlstellung: unilaterales O- oder X-Bein
Verbiegung innerhalb eines Knochens
Kombination von Fehlstellungen: Kombination aus BLD mit Achse oder auch Rotationsfehlstellung
Begleitdeformität und sonstige Auffälligkeiten (Hüftdysplasie, Skoliose, 4-strahliger Fuß bei Fibulahemimelie, Proportion, Hautveränderung)
Sehr ausgeprägte Deformität
Kombination mit Schmerzen (Tumor, Rachitis, Entzündung)

Tabelle 1 Warnhinweise, sogenannte „red flags“



Abbildung 1a–b Etwa 2-jähriger Knabe mit deutlichem Genu varum mit Seitendifferenz **a, b**. Trotz der starken Ausprägung und der Asymmetrie war die Fehlstellung bei diesem Knaben physiologisch und zeigte im Verlauf eine Spontankorrektur.

durchaus als physiologisch betrachtet werden und finden sich bei Kindern in bis zu etwa 30 % der Fälle. Dieser Wert muss als Durchschnitt aus Literatur und Erfahrung verstanden werden, da es hierzu nur wenig Literatur von niedriger Evidenz gibt [1, 2].

Ein besonderes Augenmaß ist auf die Differenzierung zwischen reeller und funktioneller Beinlängendifferenz zu legen. Bei einer realen Beinlängendifferenz liegt eine strukturelle knöcherne Verkürzung des Beins vor, wobei in diesen Fällen natürlich auch der Fuß und etwaige Achsfehlstellungen berücksichtigt werden müssen.

Eine funktionelle Beinlängendifferenz kann ein Bein kürzer oder auch länger erscheinen lassen: Eine funktionelle Verkürzung kann zum einen bei einer Beugekontraktur (Streckdefizit) des Kniegelenks vorliegen, zum anderen bei

einer Adduktionskontraktur der Hüfte. Ein Bein kann funktionell länger werden durch z.B. eine Spitzfußstellung oder eine Abduktionskontraktur der Hüfte. Auch eine Skoliose, besonders im lumbalen Bereich, kann über eine Verkipfung des Beckens bei der Untersuchung eine Beinlängendifferenz vortäuschen. Diese funktionellen Beinlängendifferenzen können gut physiotherapeutisch bearbeitet und auch behoben werden, was selbstredend bei realen anatomischen Verkürzungen nicht möglich ist.

Bei Achsfehlstellungen sind die wichtigsten Faktoren zur Differenzialdiagnose die Symmetrie sowie das Ausmaß und die Richtung der Fehlstellung in Relation zum Alter des Patienten. Als Warnzeichen (Tab. 1) werden grundsätzlich Asymmetrien bei Achsfehlstellungen beschrieben. Hier ist jedoch darauf



Abbildung 2a–b a) Typische Veränderungen am distalen und proximalen Femur nach multifokaler Säuglingsosteomyelitis.
b) Ergebnis einer septischen Arthritis mit Knochenbeteiligung am linken Kniegelenk. Der Infekt hat die Wachstumsfuge zerstört mit typischer zentraler Einziehung.

zu achten, dass eine milde, gerade wahrnehmbare Asymmetrie in ganz vielen Fällen vorliegt und lediglich stärkere Asymmetrien einer weiteren Abklärung würdig sind. Auch das Ausmaß spielt eine große Rolle: So sind zarte X- oder O-Beine durchaus als physiologisch zu betrachten; bei starken Fehlstellungen ist wiederum eine Pathologie radiologisch auszuschließen. Der wichtigste Faktor ist das Alter: Zu Gehbeginn zeigt sich meist eine O-Bein-Fehlstellung. Durch eine oft physiologisch verminderte Tibiatorsion werden die Kniegelenke beim Gehen nach außen gerichtet und zusammen mit dem ebenfalls physiologisch oft vorliegenden leichten Streckdefizit der Kniegelenke im Gangbild entsteht der Eindruck der massiven O-Bein-Fehlstellung (Abb. 1). Dies ist durch die Untersuchung auf dem Schoß der Mutter zu relativieren, da dann das Kniegelenk ganz durchgestreckt und das Bein so rotiert werden kann, dass die Kniescheibe nach vorne gerichtet ist. Bei dieser korrekten Ausrichtung, wie wir sie auch für die radiologische Untersuchung verwenden, erscheint die Fehlstellung oft deutlich geringer und wird

dann leicht als physiologisch erkannt. Eine Fotodokumentation zur Verlaufskontrolle ist in diesem Fall empfehlenswert. Mit etwa 2–3 Jahren entwickelt sich bei vielen Kleinkindern eine X-Bein-Fehlstellung, die ebenfalls physiologisch ist und sich oft bis zum 6. Lebensjahr hält.

Genauso wie das Ausmaß dieser Fehlstellungen eine große Schwankungsbreite zeigt, haben sowohl der Zeitpunkt des Auftretens als auch derjenige der Rückbildung eine große Schwankungsbreite; somit sind die hier erwähnten Zeitangaben nur als Richtwerte zu betrachten.

Schmerzen spielen bei Fehlstellungen bei Kindern fast keine Rolle und sind als Warnsignal zu deuten. Lediglich extreme Fehlstellungen führen vor Wachstumsabschluss zu Schmerzen in den Gelenken. Bei Adoleszenten und besonders jungen Erwachsenen finden sich bei klinisch relevanter Beinlängendifferenz jedoch fallweise Schmerzen im Lendenwirbelsäulen- und Iliosakralbereich [1, 3].

Ursachen nicht idiopathischer Achsabweichungen und Beinverkürzungen

Es gibt eine Vielzahl von Pathologien, die Beinlängendifferenzen – oft kombiniert mit Fehlstellungen – verursachen können: Eine Verkürzung oder auch ein überschießendes Wachstum kann sich posttraumatisch nach Fraktur zeigen, je nachdem, ob eine Fuge geschädigt wurde (Verkürzung) oder eine Fraktur im diaphysären Bereich stattgefunden hat (Verlängerung) [4]. Postinfektiöse Verkürzungen finden wir nach Neugeborenenroseptis oder septischen Arthritiden im Kleinkindes- oder Kindesalter. Dabei kann es zur postinfektiösen Zerstörung der Wachstumsfuge kommen mit oft massiven Verkürzungen und ausgeprägten Fehlstellungen (Abb. 2a, b).

Ein weiterer großer Bereich sind kongenitale Verkürzungen, wozu der kongenitale Femurdefekt, die Fibulahemimelie und die noch seltenere Tibiahemimelie zählen. Hierbei ist nicht nur der Knochen pathologisch verändert, sondern entsprechend dem betroffenen Entwicklungsfeld nach Opitz und Lewin [5] kommt es zu Veränderungen an den Bändern des Knie-

gelenks [6], dem lateralen Femurkondyl [7] und zur Dysplasie des Azetabulums, aber auch zu Strahlendefekten [8, 9]. Bei diesen Pathologien ist eine Wachstumlenkung der Fugen möglich, dauert aber aufgrund der Hypoplasie und des Minderwachstums der Fuge länger und ist mit Rezidiven behaftet [10].

Schwere Formen dieser kongenitalen Längsdefekte werden bereits vorgeburtlich im Ultraschall [11] oder kurz nach der Geburt diagnostiziert. Milde Formen dieser angeborenen Verkürzungen fallen oft zwischen dem 2. und 4. Lebensjahr auf.

Eine weitere, sehr auffällige Ursache einer Beinverkürzung ist das Crus genu recurvatum valgum (postero-medial bowing) (Abb. 3a). Hier erscheint der Fuß ähnlich einem Hakenfuß hochgeklappt und der Fußrücken liegt an der Tibia an. Der Fuß ist dabei aber völlig unauffällig, es ist die Tibia, die hier im unteren Drittel eine massive Verbiegung nach posterior und medial zeigt. Eine deutliche Spontankorrektur zeigt sich in den ersten beiden Lebensjahren, wobei je nach Schweregrad eine leichte Achsabweichung und eine Beinlängendifferenz bis zu 6 cm bestehen bleiben können. Von dieser relativ gutartigen Verbiegung des Unterschenkels nach posterior und medial ist eine Verbiegung nach anterior und medial bei schwerer Fibulahemimelie (Abb. 3b) mit typischem Hautgrübchen an der Krümmung abzugrenzen, aber auch die Verbiegung nach anterior und lateral bei der sehr schwer zu therapierenden kongenitalen Tibiapseudarthrose (CPT) (Abb. 3c).

Bei den tumorösen Veränderungen führen besonders die Erkrankungen multiple kartilaginäre Exostosen und Enchondromatose zu Achsfehlstellungen [12]. Die multiplen kartilaginären Exostosen sind in der Regel ab dem 2.–3. Lebensjahr tastbar und führen in unterschiedlichem Ausmaß zu Fehlstellungen der unteren und auch der oberen Extremitäten. Manchmal ist die Gelenkbeweglichkeit durch große Exostosen mechanisch eingeschränkt. Die Exostosen wachsen im Bereich der Metaphysen meist zum Knochenzentrum hin. Die Enchondromatose ist durch radiologisch säulenartige Aufhellungen gekennzeichnet, die sich von der Wachstumsfuge in die Metaphyse und Diaphyse ziehen (Abb. 4). Eine epiphysäre Beteiligung ist selten. Je nach Verteilung wird ein Morbus Ollier bei primär einseitigem Befall und ein Maffucci-Syndrom



Abbildung 3a-c Aus der Richtung der Verbiegung ergibt sich die Diagnose für das Crus genu recurvatum valgum **a)**, die Fibulahemimelie **b)** und die kongenitale Tibiapseudarthrose **c)**.



Abbildung 4 Metaphysäre säulenartige Veränderungen bei Enchondromatose mit massiver Fehlstellung



Abbildung 5a-b Die Vitamin-D-resistente Rachitis verursacht meist eine massive Varusfehlstellung und eine verminderte Tibiatorsion **a)**, kann aber – sogar innerhalb derselben Familie – zu X-Beinen führen **b)**.

bei primär einseitigem Befall mit zusätzlichen multiplen Weichteilhämangiomen beschrieben.

Bei den metabolischen Erkrankungen ist es besonders die Vitamin-D-resistente Rachitis, die sich durch schwere Fehlstellungen auszeichnet (Abb. 5). Selbst bei vollständiger Korrektur sind Rezidive besonders während des Wachstums zu erwarten [13, 14]. Osteodysplasien führen häufig zu Verkürzungen, aber auch zu Achsfehlstellungen, wobei hier der Befund – ähnlich wie bei den metabolischen Erkrankungen – meist relativ symmetrisch ist. Hierzu gehören z.B. die Achondroplasie, die Pseudochondroplasie sowie epi- und metaphysäre Dysplasien. Die meisten Skelettdysplasien sind so unterschiedlich, aber auch selten, dass eine individuelle Therapieplanung durchgeführt werden muss und kaum generelle Empfehlungen ausgesprochen werden können [15].

Außerdem können auch neurologische Störungen wie die Poliomyelitis oder eine spastische Hemiparese eine Beinlängendifferenz verursachen.

Klinische Untersuchung und klinische Hinweise

Zur kinderorthopädischen Abklärung einer einfachen Fehlstellung ist in den meisten Fällen die klinische Untersuchung ausreichend, wobei diese standardisiert und richtig durchgeführt werden muss. Zu Beginn empfiehlt es sich grundsätzlich, jedes Kind, gleich welchen Alters, bis auf die Unterhose oder Windel entkleiden zu lassen. Am Beginn der Untersuchung sollte die Beurteilung des Gangbilds stehen, wobei hier darauf zu achten ist, dass eine ausreichend lange Gehstrecke zur Verfügung steht. Im Gehen und Laufen ist auf den Fußöff-

nungswinkel, aber auch auf die Ausrichtung (Rotation) der Kniegelenke in Relation zur Gangrichtung zu achten. Bei einer Beinlängendifferenz laufen junge Patienten oftmals auf Zehenspitzen oder beugen das Kniegelenk am langen Bein beim langsamen Gehen oder Stehen. Ein Zirkumduzieren des langen Beins, wie es bei Erwachsenen beschrieben ist, findet sich bei Kindern selten. Milde Beinlängendifferenzen sind im Gangbild oft schwer zu erkennen. Im Stehen kann die Beinachse gut beurteilt werden, wobei hierbei zu bedenken ist, dass bei deutlicher Adipositas eine X-Beinfehlstellung vorgetäuscht oder optisch akzentuiert werden kann. Von hinten betrachtet kann dann nicht nur die Beinstellung, sondern auch die Beinlänge untersucht werden, wobei dies über die Beckenstellung möglich ist. Es ist wichtig, sich insbesondere bei Kleinkindern auf die Höhe des Beckens herab-



Abbildung 6 Nur korrekte Röntgenbilder mit zentrierter Kniescheibe zur frontalen Ausrichtung der Extremität und Vergrößerungsmarker erlauben eine exakte und reproduzierbare Beinmessung.

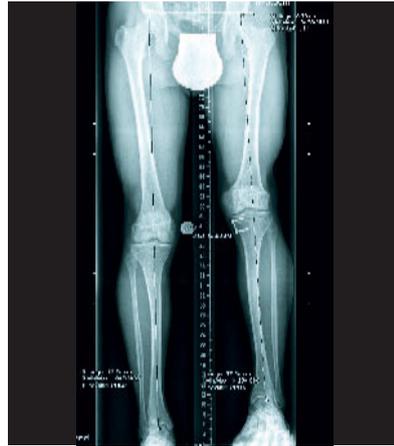


Abbildung 7 Bei Unterlage von 5,5 cm links ist der Hüftkopf noch 2 mm tiefer, was eine gesamt BLD von 5,7 cm ergibt. Das linke Bein (Femur und Tibia) ist um 5,5 cm kürzer als das rechte. Somit ergeben sich lediglich 2 mm aus der Fußhöhe.

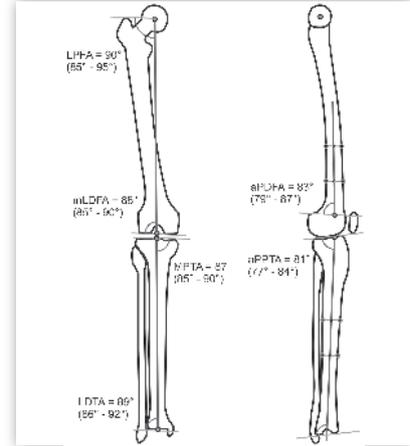


Abbildung 8 Normalwerte und Abweichung der Gelenkwinkel der unteren Extremität nach Paley und Tetsworth [16]

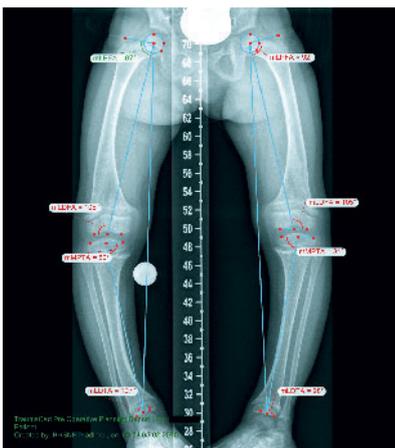


Abbildung 9 Trauma Cad erlaubt eine exakte Beinmessung aufgrund von Landmarks und Speicherung der Winkelwerte, aber auch eine Korrekturplanung, falls Osteotomien erforderlich sind.



Abbildung 10 Blountklammern mit Lockerung einer der Klammern und konsekutiver Notwendigkeit der operativen Repositionierung



Abbildung 11 Die Eight-Plate (Orthofix) war das erste 2-Loch-Platten-Schraubensystem am Markt und löste die Blountklammern fast vollständig ab.

zulassen, um die Stellung der Spina iliaca posterior superior (SIPS) exakt bestimmen zu können. Liegt ein Beckenschiefstand vor, so kann dieser durch Unterlage von Plättchen korrigiert werden. Bei korrigierter Beckenstellung ist auf die Wirbelsäule zu achten. Sollte sich durch Unterlage der Plättchen und Korrektur der Beckenstellung keine vollständige Begradigung der Wirbelsäule und auch ein Verschwinden jeglicher Asymmetrien im Vorbeugen ergeben, so ist zusätzlich oder ausschließlich mit einer Fehlstellung der Wirbelsäule (Skoliose)

zu rechnen. Eine Vermessung der Beine mit dem Maßband erscheint in Anbetracht der Nichtreproduzierbarkeit und Ungenauigkeit als ungeeignet. Einen Hinweis, ob bei der Beinlängendifferenz eine funktionelle Komponente vorliegt, kann durch Testung der Stellung der Knöchel im Sitzen und Liegen gefunden werden. Beim liegenden Patienten sind die Knöchel zu fassen und der Patient wird aufgefordert, sich aufzusetzen. Wenn sich dabei die Relation der Knöchel verändert, ist dies ein Hinweis auf eine funktionelle Komponente. Eine

grobe Differenzierung, ob die Beinlängendifferenz aus Femur oder Tibia oder aus beiden Segmenten kommt, ist durch den Galeazzi-Test möglich.

Wichtig ist natürlich auch die übrige Untersuchung. Eine ausgeprägte asymmetrische Hüftrotation mit verminderter Innenrotationsfähigkeit und deutlich vermehrter Außenrotationsfähigkeit am verkürzten Bein kann auf einen kongenitalen Femurdefekt hinweisen mit typischer Retrotorsion der Hüfte. Bei derselben Pathologie zeigt sich oft auch eine vermehrte Instabilität und vordere

Schublade im Kniegelenk. Strahlendefekte, also fehlende seitliche Zehenstrahlen, sind ein klarer Hinweis auf eine Fibulahemimelie. Eine verminderte Gesamtkörpergröße und ein asymmetrisches Verkürzungsmuster (Mesomelie = Verkürzung der mittleren Extremitätenabschnitte, also Unterarme oder Unterschenkel, und Rhizomelie = Verkürzung der stammnahen Extremitätenabschnitte, also Oberarme oder Oberschenkel) kann auf Syndrome und osteodysplastische Erkrankungen hinweisen.

Zeigt sich bei einer milden Verkürzung ohne Fehlstellung auch eine leichte Verkürzung der oberen Extremität und eine Seitendifferenz bezüglich des Durchmessers der Extremität, ist mit einer Hemihypotrophie oder Hemihypertrophie zu rechnen.

Radiologische Diagnostik

Liegt nun eine Beinlängendifferenz von > 1 cm vor oder hat sich eine Beinlängendifferenz bei einer Folgeuntersuchung etwa 6 Monate nach der Erstuntersuchung verschlechtert oder liegt eine ausgeprägte oder zunehmende Achsfehlstellung oder eine Achsfehlstellung mit Verkürzung vor, sollte eine Röntgendiagnostik erfolgen.

Wenn die Indikation zur Röntgenuntersuchung gestellt wird, so ist es besonders wichtig, gute und reproduzierbare Bilder zu bekommen. Für die exakte Evaluierung der Beinlängendifferenz (besonders ab 2 cm) ist es erforderlich, auch im Röntgen diese mit entsprechender Plättchenunterlage auszugleichen und am Röntgenbild vermerken zu lassen. Während früher Ganzbeinröntgen im Zweibeinstand mit konventionellen Röntgengeräten unter Anwendung eines großen Film-Focus-Abstands nur in speziellen Kliniken möglich war, wird heute mithilfe von digitalen Geräten und dem Stitching der Bilder die gesamte untere Extremität abgebildet. Um exakte Messungen der Beinlänge durchführen zu können, ist eine Metallkugel oder Ähnliches als Vergrößerungsmarker für die Kalibrierung zu verwenden, wobei diese jeweils auf Höhe des Knochens angebracht werden muss. Zur Beurteilung der Beinachse ist die richtige Stellung (Rotation) des Beins entscheidend, da sich hier sonst grobe Messfehler ergeben. Das Bein ist so einzustellen, dass die Kniescheibe

exakt zentriert ist (Abb. 6). Sollte die Kniescheibe lateralisiert sein oder aus anderen Gründen nicht als Referenz zur Verfügung stehen, so ist die Tuberositas der Tibia zu verwenden. Ist auch diese aufgrund pathologischer Veränderungen nicht verwertbar, so kann durch Beugen und Strecken des Kniegelenks die richtige Ebene gefunden werden.

In diesem Röntgenbild kann nun die Beinlängendifferenz exakt gemessen werden, vorausgesetzt, dass die Kniegelenke beidseits voll gestreckt waren und beide Fersen gleichmäßig belastet wurden. Es wird zuerst die Höhendifferenz der Hüftköpfe als Gesamtbeinlängendifferenz gemessen. Des Weiteren wird die Differenz des Femurs und der Tibia (oberer Hüftkopfrand zum Sprunggelenk) erhoben. Die Differenz dieser beiden Werte ergibt indirekt die Differenz der Fußhöhe (Abb. 7).

Zur Achsbestimmung wird eine Linie vom Hüftkopffzentrum zum Sprunggelenkszentrum gezogen (Mikulicz-Linie). Diese sollte durch die Kniemitte verlaufen bzw. beim Adoleszenten bis zu 8 mm medial [16, 17]. Bei Lateralisierung dieser Linie (Valgus) oder Medialisierung (Varus) wird der Abstand der Linie zur Kniemitte in Millimeter (MAD = mechanical axis deviation) angegeben. Dieser Wert kann sehr gut zur Dokumentation und Verlaufskontrolle herangezogen werden. Die Lokalisation (Femur/Tibia) und der Apex der Fehlstellung (CORA) kann über den Malalignmentstest [17] gefunden werden (Abb. 8). Eine hilfreiche Möglichkeit zur weiteren Deformitätenanalyse und zur Planung operativer Schritte stellen Apps wie Bone Ninja [18] oder Computer Software wie Trauma Cad (Brainlab, Inc. Westchester, IL USA, Abb. 9) dar.

Das Röntgenbild ist natürlich auch im Detail (Epiphysen, Metaphyse usw.) im Hinblick auf die oben genannten möglichen Pathologien, wie kongenitale Längsdefekte oder Syndrome, zu beurteilen. Liegt hier ein abklärungswürdiger Verdacht vor, ist es meist sinnvoll, auch Bilder der oberen Extremität und der Wirbelsäule durchführen zu lassen.

Wachstumslenkung: Wo und wann?

Für die Therapie der Beinfehlstellung oder Beinverkürzung ist die Wachstums-

lenkung eine hervorragende minimalinvasive Methode. Sie erlaubt als Hemiepiphyse (einseitige Blockade der Wachstumsfuge) eine sehr exakte Korrektur von Achsabweichungen und als Epiphyse (Blockade der gesamten Wachstumsfuge) auch eine Korrektur bzw. zumindest Verringerung von Beinverkürzungen.

In beiden Fällen ist die korrigierende Kraft das Wachstum und folglich ist eine Korrektur auch nur über gesunde oder zumindest mehr oder weniger gesunde Fugen möglich. Sind Fugen durch z.B. Trauma oder Infekt verschlossen, können diese nicht mehr zu einer Korrektur herangezogen werden.

Bei der Hemiepiphyse wird eine Seite einer Wachstumsfuge blockiert, wodurch eine Achslenkung während des Wachstums möglich ist. Die Hemiepiphyse kann permanent durch einseitige Zerstörung der Wachstumsfuge durch Überbohren [19] oder Einsetzen eines Knochenspans [20] durchgeführt werden. Hierbei ist der Zeitpunkt dieser Maßnahme sehr kritisch, um nicht eine Über- oder Unterkorrektur zu erhalten. Aus diesem Grund wird die Hemiepiphyse heute als temporäre Maßnahme bevorzugt, bei der durch mehrere Klammern, eine Schraube oder eine Platte die Wachstumsfuge blockiert wird. Nach Entfernen dieser Implantate kann in der Regel ein weiteres normales Wachstum stattfinden.

Die Indikation zur Wachstumslenkung wird üblicherweise anhand des Ausmaßes der Fehlstellung gestellt. Eine vermehrte Varus- oder Valgus-Fehlstellung gilt als Risikofaktor bei der Entstehung bzw. Progression einer Kniegelenk-Osteoarthritis [21, 22], wobei das Ausmaß bzw. der Grenzwert nicht bekannt ist. Knieschmerzen trifft man in der Praxis jedoch durchaus oft bei jungen Erwachsenen mit ausgeprägter Fehlstellung an. Ein neuer, interessanter Zugang zur Fragestellung des Zusammenhangs zwischen Fehlstellung und dynamischer Gelenkbelastung wird durch die 3-D-Ganganalyse und die Untersuchung der Belastungsmomente am Kniegelenk ermöglicht, wobei derzeit noch keine definitiven Aussagen hierüber getroffen werden können [23].

Zur Indikationsstellung wird die mechanische Achsabweichung (MAD – Position der Mikulicz-Linie) herangezogen. Als relevante Fehlstellung bei Er-

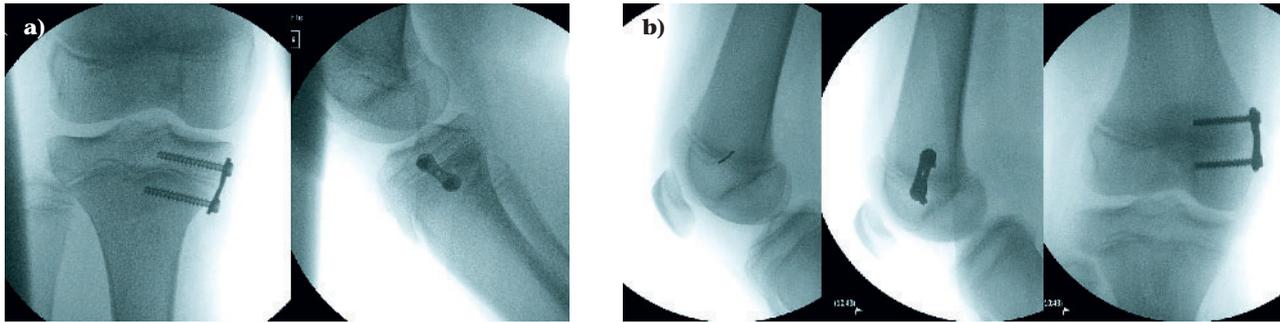


Abbildung 12a–b Nach Markierung der Wachstumsfuge mit einem Bohrdräht wird die Platte angelegt und nach Vorlegen von Bohrdrähten und Bildwandlerkontrolle wird je eine Schraube über und unter der Fuge eingebracht. Am Femur **a)** und an der Tibia **b)** erfolgt ein identisches Vorgehen, wobei die geschwungene Wachstumsfuge am Femur eine exakte extraphysäre Platzierung oft etwas schwieriger macht.

wachsenen wurde eine MAD über 15 mm nach medial oder 10 mm nach lateral definiert [24]. Stevens und Mitarbeiter [25] teilten für die Indikationsstellung zur Wachstumslenkung das Kniegelenk mit einem Lineal in 3 Zonen ein. Hierbei wird die Kniemitte als Null bezeichnet und als Zone 3 der Bereich, der bereits außerhalb des Gelenks verläuft. Als Zone 1 und 2 werden jeweils die innere und die äußere Hälfte des medialen und lateralen Kompartments definiert. In den in dieser Arbeit dokumentierten Fällen wurde eine Wachstumslenkung bei Lage der mechanischen Achse in Zone 2 und 3 durchgeführt. Wir berücksichtigten zur Indikationsstellung in grenzwertigen Fällen zusätzlich die Ganganalyse, den BMI und den individuellen Leidensdruck.

Grundsätzlich kann bei idiopathischen Fehlstellungen (meist Valgus-, aber auch Varusfehlstellungen) die Korrektur eher am Ende des Wachstums durchgeführt werden, um noch eine eventuelle Spontankorrektur abzuwarten und Rezidive bei langem Restwachstum zu vermeiden. Entscheidend ist es natürlich, den Zeitpunkt nicht zu verpassen! Bei Mädchen wachsen die Beine üblicherweise bis zum 14. Lebensjahr, bei Jungen bis zum 16. Lebensjahr. Es sollte somit mit spätestens 12 bzw. 14 Jahren die Wachstumslenkung zur Achskorrektur erfolgen. Bei starken Fehlstellungen oder bei langsam wachsenden Fugen (Kleinwuchs, Stoffwechselstörung, Dysplasie) muss ein Eingriff jedoch entsprechend früher durchgeführt werden. Entscheidend dabei ist das Knochenalter, welches vom chronologischen Alter abweichen kann. Nicht selten zeigen sich bei einem 12-jährigen

Mädchen die Wachstumsfugen fast verschlossen, was eine minimalinvasive Korrektur unmöglich macht. Es ist daher zu empfehlen, etwa 4 Jahre vor dem üblichen Wachstumsabschluss eine Bestimmung des Knochenalters (s.u.) durchzuführen.

Wenn die Indikation und der Zeitpunkt für den Eingriff festgesetzt wurden, muss auch entschieden werden, welche Fugen zu blockieren sind. Hier müssen der LDA und der MPTA des Malalignmentstests herangezogen werden. Wir empfehlen die Blockade jener Fugen, die eine Fehlstellung von mehr als 2–3° zeigen. Eine Abweichung von dieser Empfehlung gilt, wenn die Fehlstellung erst gegen Ende des Wachstums festgestellt wurde oder eine langsame Korrektur bei pathologischem Wachstum zu erwarten ist. Wenn dann über eine Blockierung nur einer Fuge (Femur oder Tibia) eventuell keine vollständige Korrektur mehr erreicht werden kann, so ist es auch zulässig, an beiden Fugen die Hemiepiphysiodese durchzuführen, so lange nicht auf mehr als maximal 2° Abweichung vom Normalwert überkorrigiert wird.

Wachstumslenkung: Wie und womit?

Viele Jahre war die Hemiepiphysiodese mit Blountklammern, wie sie 1949 von Blount und Clarke [26] beschrieben wurde, im deutschsprachigen Raum weit verbreitet. Die rechteckigen Klammern wurden, die Wachstumsfuge überbrückend, in den Knochen eingeschlagen, wobei pro Fuge meist 3 Klammern zur Anwendung kamen. Das re-

gelrechte Setzen der 3 Klammern war oft zeitaufwendig, insbesondere wenn die Epiphysiodese an mehreren Fugen durchgeführt wurde. Zusätzlich kam es immer wieder zur Lockerung einzelner Klammern und zum Herauswandern aus dem Knochen mit der Notwendigkeit der Nachpositionierung (Abb. 10).

Ein großer Fortschritt war die Einführung der 2-Loch-Platten-Schraubensysteme (Eight-Plate, Orthofix) durch Stevens [27] (Abb. 11). Durch die Platte und je eine Schraube über und unter der Fuge findet die Wachstumslenkung über einen Tension-band-Effekt statt. Derzeit sind unterschiedliche Implantate mit gleichem bzw. ähnlichem Wirkprinzip wie z.B. Eight-Plate (Orthofix), Peditplate (OrthoPediatrics) und andere am Markt erhältlich.

Die 2-Loch-Platten werden seitlich am Knochen angebracht und mit je einer Schraube über und unter der Wachstumsfuge fixiert (Abb. 12). Die Platte liegt außerhalb des Periosts und der Fuge, wodurch eine permanente Schädigung der Fuge verhindert wird. Die beiden Schrauben können sich am Schraubenkopf an der Platte bewegen und so während der Korrektur auseinanderweichen. Pro Fuge ist das Setzen lediglich einer Platte erforderlich, wodurch sich eine deutliche Verkürzung der Operationszeit ergibt und der Zugang und der Hautschnitt deutlich kleiner gehalten werden können. Die Schrauben und Schraubendreher sind kanüliert, wodurch mit Bohrdrähten im Bildwandler eine genaue Positionierung der Platte und Schrauben erfolgen kann. Postoperativ ist eine sofortige Vollbelastung schmerzlimitiert möglich. Nur in seltenen Fällen benötigen

die Kinder (schmerzbedingt oder aus Verunsicherung) vorübergehend für wenige Tage Stützkrücken. Eine Entlassung kann meist am 2.–3. postoperativen Tag durchgeführt werden. Sportkarenz wird für 4 Wochen empfohlen. Wir führen Nachuntersuchungen nach Implantation eines 2-Loch-Platten-Systems alle 3–4 Monate durch. Bei klinisch noch eindeutiger Fehlstellung kann auf eine Röntgenaufnahme verzichtet werden, wobei gegen Ende der Korrektur Röntgenaufnahmen meist alle 3–4 Monate erforderlich sind (Abb. 13a, b).

Die Entfernung der Platten wird bei Erreichen des Korrekturziels durchgeführt. Die Korrekturgeschwindigkeit hängt von dem Alter des Patienten, der Diagnose und der Anzahl der Platten pro Extremität ab. Grundsätzlich ist zu beachten, dass die Korrektur bei jüngeren Patienten, gesunden Fugen, Extremitäten mit Platten an Femur und Tibia, Platten am Femur gegenüber Platten an der Tibia und Patienten ohne deutlich erhöhten BMI schneller erfolgt.

Wachstumslenkung: Was sagt die Literatur?

Stevens [27] berichtete bereits 2007 die Ergebnisse von 34 konsekutiven Patienten, bei denen 65 Fehlstellungen (Femur und/oder Tibia) mittels einer 2-Loch-Platte (Eight-Plate, Orthofix) korrigiert wurden. Bei 32 der 34 Patienten wurde die Fehlstellung innerhalb von durchschnittlich 11 Monaten berichtigt. Er fand dabei eine um 30 % raschere Korrektur als mit den herkömmlichen Klammern. Bereits in dieser ersten Serie beobachtete er aber auch ein Phänomen, das sich als eine der größten Schwierigkeiten bei dieser Methode herauskristallisiert hat: den Rebound, das Wiederauftreten der Fehlstellung nach Plattenentfernung im Verlauf des weiteren Wachstums.

Schon 2010 präsentierten wir unsere erste Fallserie mit einer 2-Loch-Platte (Eight-Plate) mit 52 Platten bei 23 Patienten. Bei nur einem Patienten konnte die Fehlstellung nicht vollständig korrigiert werden [28]. Ebenfalls 2010 beschrieben Burghardt und Herzenberg [29] 43 Patienten, bei denen Korrekturen mit Eight-Plate bei 51 Extremitäten

durchgeführt wurden. Nach Plattenentfernung zeigte sich keine Wachstumsstörung, jedoch ein Rebound von durchschnittlich 15,7 mm MAD bei 10 Extremitäten.

Die geringere Operationszeit beim Einbringen sowie bei der Explantation der Eight-Plate verglichen mit herkömmlichen Klammern wurde von Jelinek et al. 2012 beschrieben [30]. Auch die Notwendigkeit, die Platten bei langsamem Wachstum bei pathologischen Fugen früher einzusetzen, wurde inzwischen wissenschaftlich bestätigt [31]. Die Wichtigkeit der regelmäßigen Nachuntersuchung zeigte sich in einer anderen Studie, in der 12 % der Patienten im Nachuntersuchungszeitraum nicht zu den vereinbarten Kontrollen erschienen. Von diesen 23 Patienten konnten später 7 nachuntersucht werden, wobei von diesen nur 3 ohne Fehlstellung den Wachstumsabschluss erreichten, aber 4 in einer Überkorrektur endeten [32].

Wachstumslenkung: Wo noch?

Eine seltene Indikation stellt der Sprunggelenk-Valgus dar – hier kann eine Wachstumslenkung an der distalen medialen Tibia durchgeführt werden [33]. Bei dieser Anwendung empfiehlt sich die Verwendung von Low-profile-Platten wie z.B. der low profile Peditplate (OrthoPediatrics), die bei geringer Weichteildeckung in dieser Region weniger aufliegen. Ein weiteres, seltenes Anwendungsgebiet der Wachstumslenkung stellt die Epiphysiodese des Trochanters dar [34, 35]. Im Gegensatz zur Frontalebene werden Epiphysiodesen zur Wachstumslenkung von Deformitäten in der Sagittalebene äußerst selten durchgeführt. Ein Beispiel dafür ist die Bremsung der anterioren distalen Femurfuge zur Korrektur einer Flexionsstellung des Knies bei Kindern mit infantiler Zerebralparese [36, 37]. Eine Indikation, die in der Literatur und aus persönlicher Erfahrung der Autoren kontrovers zu sehen ist, stellt die Hemi-epiphysiodese an der ventralen distalen Tibiafuge zur Korrektur einer Spitzfußfehlstellung dar [38]. Rein experimentell wird die Wachstumslenkung auch zur Korrektur von Rotationsfehlstellungen untersucht [39].

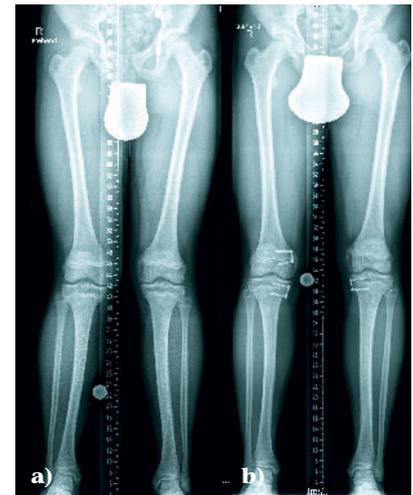


Abbildung 13a–b Bei diesem 13-jährigen Jungen dauerte die Korrektur bei relativ langsamem Wachstum 11 Monate. Trotz stärker ausgeprägter Fehlstellung auf der rechten Seite **a**) konnte durch die Anwendung von 2 Peditplates versus einer Peditplate auf der Gegenseite die Korrektur zum gleichen Zeitpunkt erreicht werden **b**). Dadurch wurde die Notwendigkeit einer 2-zeitigen Metallentfernung vermieden.

Wachstumsbremsung: Wo und Wann?

Klassisch stellt sich die Indikation zur Korrektur einer Beinlängendifferenz ab 2 cm. Dies ergibt sich aus der Diskussion, ab wann eine Beinlängendifferenz als pathologisch zu werten ist und ab welchem Ausmaß mit Folgen für den Haltungsapparat zu rechnen ist. Hier ist die Literatur sehr uneinig und der Wert für eine relevante Beinlängendifferenz wird von 3–22 mm angegeben [1]. Friberg [40] fand 1983 bei 798 Patienten eine Korrelation zwischen chronischer Lumbalgie und/oder Hüftschmerz und dem Ausmaß einer Beinlängendifferenz. Durch einen Ausgleich mittels Schuheinlage konnten in dieser Serie die Symptome in den meisten Fällen reduziert bzw. behoben werden. Bei großen Differenzen kommt es zusätzlich zur Mehrbelastung des ipsilateralen Kniegelenks sowie zur Minderüberdachung der kontralateralen Hüfte durch den starken Beckenschiefstand [41].

Wir empfehlen einen operativen Ausgleich ab 2 cm, wenn eine Angleichung der Beinlänge nicht mehr über eine Schuheinlage, sondern nur noch

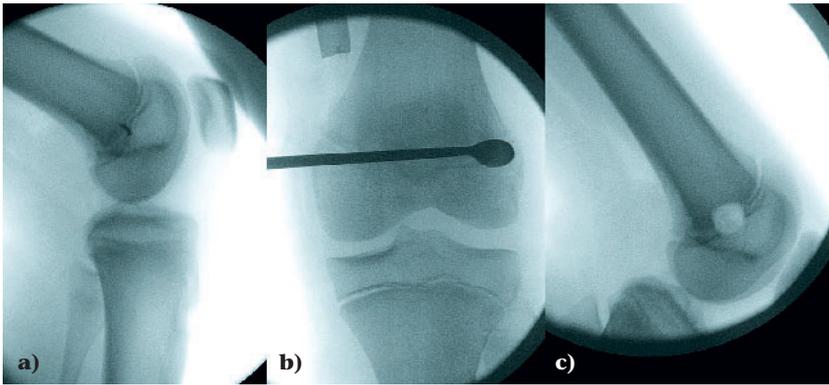


Abbildung 14a–c Bei der Operation nach Canale erfolgt nach Prüfung der Lage des Bohrdrahts im a.p.- und seitlichen Strahlengang **a)** das Überbohren bis 13 mm mit kanülierten Bohrern. Danach wird die Fuge mit dem scharfen Löffel ausgeschabt **b)**. In der korrekten Seitprojektion zeigt sich das Loch in der Wachstumsfuge **c)**. Nach knöchernem Durchbau ist die Fuge blockiert.

über eine orthopädietechnische Schuhsohlenerhöhung möglich wäre. Diese wird besonders von jungen Menschen meist abgelehnt und nicht getragen. Bei einer Verkürzung von > 2 cm, die nicht konservativ ausgeglichen wird, rechnen wir mittelfristig mit dem Auftreten von Symptomen und langfristig mit Spätschäden am Bewegungsapparat.

Bei Beinverkürzung muss zuerst eine grundsätzliche Frage beantwortet werden: Soll die verkürzte Extremität verlängert oder die längere Extremität am Wachstum gehindert werden? Liegt zusätzlich zur Verkürzung eine deutliche Fehlstellung vor, so ist in der Regel mit größeren Beinlängendifferenzen am Wachstumsende zu rechnen und oft eine Korrektur mit Verlängerung zu empfehlen.

Am Beginn dieser Überlegungen sollte eine Berechnung der zu erwartenden Beinlängendifferenz und der Gesamtkörpergröße am Ende des Wachstums durchgeführt werden. Dazu müssen die exakte Größenmessung des Patienten mit Unterlage unter dem kürzeren Bein und die Bestimmung des Knochenalters erfolgen.

Knochenalter

Für die Bestimmung des Knochenalters gibt es verschiedene Methoden, wobei wir die einfache und dennoch sehr exakte Methode nach Greulich und Pyle [42] verwenden. Im ihrem Atlas sind

geschlechtsspezifisch Röntgenbilder der linken Hand im a.p.-Strahlengang von Kindern abgebildet, wobei hier jeweils typische Bilder für das jeweilige Alter ausgewählt wurden. Die Details dieser a.p.-Röntgenaufnahme der linken Hand vergleicht man nun mit der korrespondierenden Röntgenaufnahme des Patienten. Eine rezente Studie konnte zeigen, dass heute viele amerikanische Adoleszenten entsprechend ihres Knochenalters nach Greulich und Pyle deutlich weiter entwickelt sind, als es ihrem chronologischen Alter entspricht. Dies trifft insbesondere auf Mädchen zwischen dem 12. und 15. Lebensjahr zu [43].

Die Sauvegrain-Methode evaluiert a.p.- und laterales Röntgen des Ellenbogens. Diese Methode ist limitiert auf den pubertären Wachstumsschub (Mädchen 10–13 Jahre, Jungen 12–15 Jahre) und ist in dieser Phase eine gute Ergänzung zum Atlas von Greulich und Pyle [42].

Die Methode nach Tanner und Whitehouse [45] beurteilt 20 Indikatoren am a.p.-Handröntgen und ist damit sehr zeitaufwendig. Die Evaluierung der Beckenkammepiphyse sowie anderer Wachstumsfugen nach Hoppenfeld wird eher zur Prognose des Wachstumsendes der Wirbelsäule verwendet [46].

Die Endgröße des Patienten kann mithilfe der CDC Growth Charts oder mit dem daraus errechneten Multipliiert [47] durchgeführt werden.

Die Beinlängendifferenz bei Wachstumsabschluss kann für Verkürzungen

mit proportionalem Wachstumsmuster [4] einfach vorhergesagt werden. Hierfür kann nach Bestimmung der Perzentile des Patienten und dem Knochenalter die Kurve von Anderson et al. [48] verwendet werden. Einfacher ist es wiederum, den daraus errechneten Multipliiert zu verwenden [49].

Liegt der Patient unterhalb der 50. oder 25. Perzentile, so ist eine weitere Reduktion der Gesamtgröße durch Wachstumsbremsung der längeren Seite eher nicht zu empfehlen. Bei Patienten mit hoher Endgröße kann diese jedoch eine gute Option darstellen. Bei kleineren Beinlängendifferenzen von etwa 3–4 cm ist ebenfalls die Wachstumsbremsung eine gute Option. Bei großer Beinlängendifferenz ist natürlich auch der kosmetische Aspekt im Hinblick auf die Relation der Beinlänge zur Armlänge und der Sitzhöhe zur Beinlänge zu bedenken.

Ist schließlich die Entscheidung zur Wachstumsbremsung gefallen, muss der Zeitpunkt dafür exakt berechnet werden. Hier stoßen wir – genauso wie bei der Berechnung der Endgröße und der Beinlängendifferenz am Wachstumsende – auf allerlei Schwierigkeiten.

Zur Bestimmung des Restwachstums der einzelnen Fugen und damit des Korrekturpotenzials und auch zum Festsetzen des Zeitpunkts der Zerstörung der Fuge können die Green-Anderson-Kurven [50] verwendet werden. Eine weitere Möglichkeit ist die lineare Methode nach Moseley [51]. Der Moseley Straight-line-graph beruht auf einer mathematischen Konvertierung der Daten von Green und Anderson in eine Linie. Mit dieser Linie wird mithilfe des Knochenalters und 2 Messpunkten die Beinlängendifferenz zum Wachstumsende und schließlich der Zeitpunkt der notwendigen Epiphysiodese grafisch ermittelt. Die Anleitung ist sehr umfangreich und die Bestimmung ist schwierig.

Eine einfachere mathematische Berechnung ist wiederum durch die Multipliiertformeln möglich, wobei diese ebenfalls auf die Daten von Green und Anderson zurückgreifen, diese jedoch nicht wie bei Moseley grafisch, sondern mathematisch verwandeln [49]. Diese Formel beruht auf der Verwendung des chronologischen Alters; die Bestimmung der Perzentilen erfolgt nur indirekt über Eingabe der Länge des langen

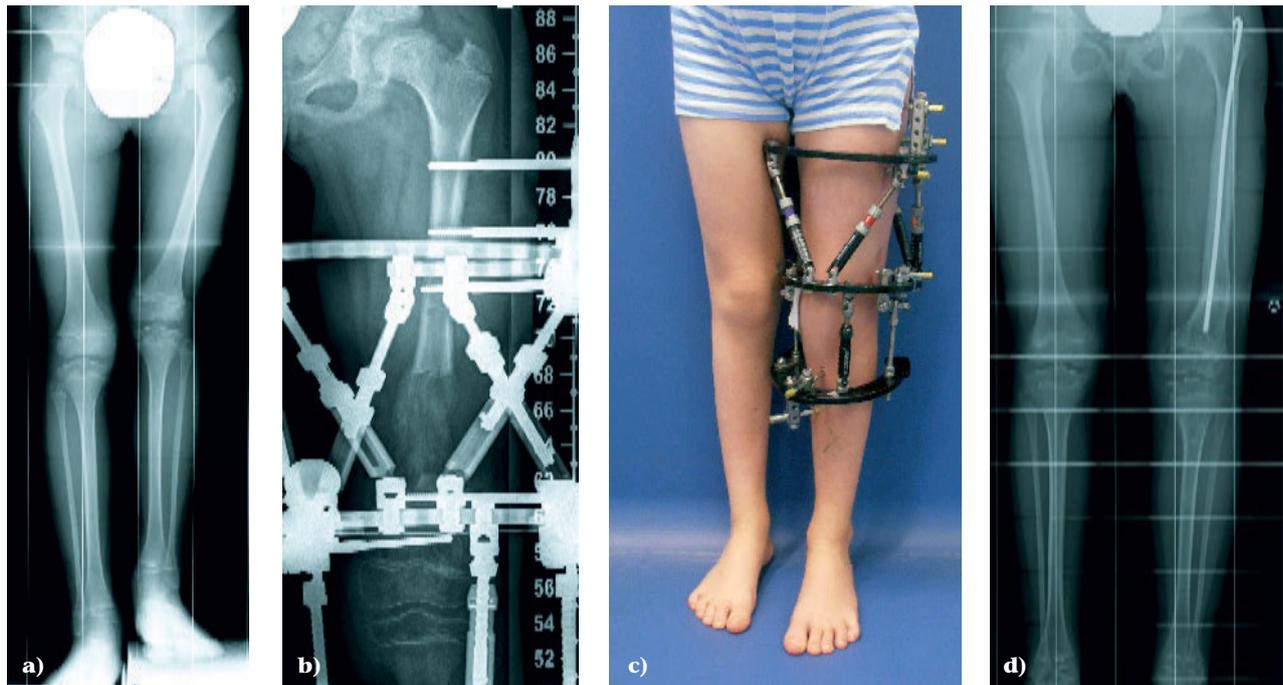


Abbildung 15a-d Bei dieser Patientin mit CFD im Rahmen eines Conradi-Hünermann-Syndroms wurde bei starker Verkürzung und Fehlstellung **a)** eine Verlängerung und Achskorrektur mit einem Taylor Spatial Frame durchgeführt **b, c)**. Nach Apparatabbau wurde die Verlängerungsstrecke mit einem Rushpin geschützt, um eine Refraktur zu verhindern und eine sofortige Mobilisierung zu ermöglichen **d)**.

Beins. Eine Verbesserung der Genauigkeit kann gegen Wachstumsabschluss durch die Verwendung des Skelettalters erfolgen [52].

Während sich die Berechnungsmethode mit Einführung von Apps wie dem Multiplier [53] deutlich vereinfacht hat, ist dennoch die Genauigkeit der Berechnungen nicht gestiegen. Trotz allem ist die Berechnung mit dem Multiplier auch für den Zeitpunkt der Epiphysiodese – ebenfalls in Hinblick auf die Relation Genauigkeit zu Durchführbarkeit – die von uns empfohlene Methode.

Problem Wachstumsbestimmung

Abweichungen bei diesen Berechnungen ergeben sich daraus, dass fast alle erwähnten Methoden während der Pubertät, in der diese Eingriffe durchgeführt werden, am ungenauesten sind. Auch sind die Relationen des Anteils der distalen Femurfuge am Gesamtwachstum des Femurs und der proximalen Tibiafuge am Gesamtwachstum der Tibia nicht konstant. Sie werden üblicherweise mit 71 % für das distale Femur und 57 % für

die proximale Tibia stark vereinfacht angegeben [50]. Zusätzlich beruhen alle Wachstumsformeln wie bereits erwähnt auf denselben Daten aus der Originalpublikation von Green und Anderson. Diese Daten stammen von irischen Einwandererkindern aus Süd-Boston in den 1940er-Jahren (700 Kinder, davon 87 % Lähmung auf der Gegenseite bei Polio und 158 gesunde Kinder). Obwohl die Berechnungen im Durchschnitt extrem genau sind, können beim einzelnen Patienten deutliche Abweichungen auftreten [54]. In einer Studie konnte für den Multiplier zur Epiphysiodese eine Genauigkeit von durchschnittlich 0,9 cm erhoben werden, wobei aber auch ein maximaler Fehler von 2,9 cm Unterkorrektur gefunden wurde [55].

Wachstumsbremsung: Wie und womit?

Bei der Wachstumsbremsung stehen uns wiederum temporäre und permanente Methoden zur Verfügung. Clark und Blount beschrieben bereits 1949 die Epiphysiodese durch laterale und mediale Klammern. Auch hierbei ergibt sich die Gefahr der Lockerung der Klammern,

wobei bei einseitiger Lockerung aus der Epiphysiodese eine Hemiepiphysiodese werden kann mit der Gefahr der sekundären Fehlstellung. Ähnliches gilt für das ebenfalls in der Literatur beschriebene laterale und mediale Einsetzen von 2-Loch-Platten-Systemen [56]. Eine weitere temporäre Methode zur Wachstumsbremsung ist das Setzen von 2 gekreuzten Schrauben durch die Fuge [57]. Bei dieser Methode besteht die Gefahr der Recurvatumfehltstellung [58]. Zusätzlich sind der temporäre Charakter und das ungestörte und symmetrische Weiterwachsen nach Entfernung fraglich. Eine Renaissance von Klammern zur Wachstumsbremsung stellen neue Klammern dar, die besonders leicht einzubringen sind und durch ihr Design weniger Gefahr der Lockerung versprechen (RigidTack, Merete).

Permanente Epiphysiodesen wurden von Phemister bereits 1933 [20] und später von Bowen und Johnson (1984) [59] und auch Canale und Christian (1990) [19] beschrieben. Die Phemister-Technik ist operativ aufwendig mit der Entnahme eines Knochenblocks und Verdrehung und Wiedereinsetzen desselben. Die Epiphysiodese nach Canale beruht auf der bildwandlergezielten Zer-

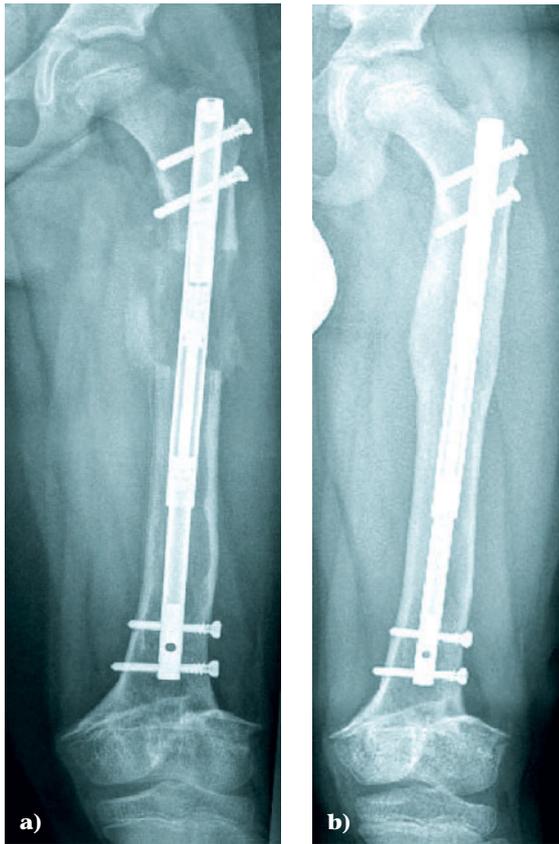


Abbildung 16a–b Bei diesem jungen Patienten wurde aufgrund einer Längendifferenz nach posttraumatischer Zerstörung der distalen Femurfuge eine Verlängerung des Oberschenkels mit einem intramedullären Precice-Verlängerungsnagel über einen antegraden Zugang im Alter von 10 Jahren durchgeführt **a)**. Unter vollbelastender Mobilisierung kam es rasch zu einer Konsolidierung der Verlängerungsstrecke **b)**.

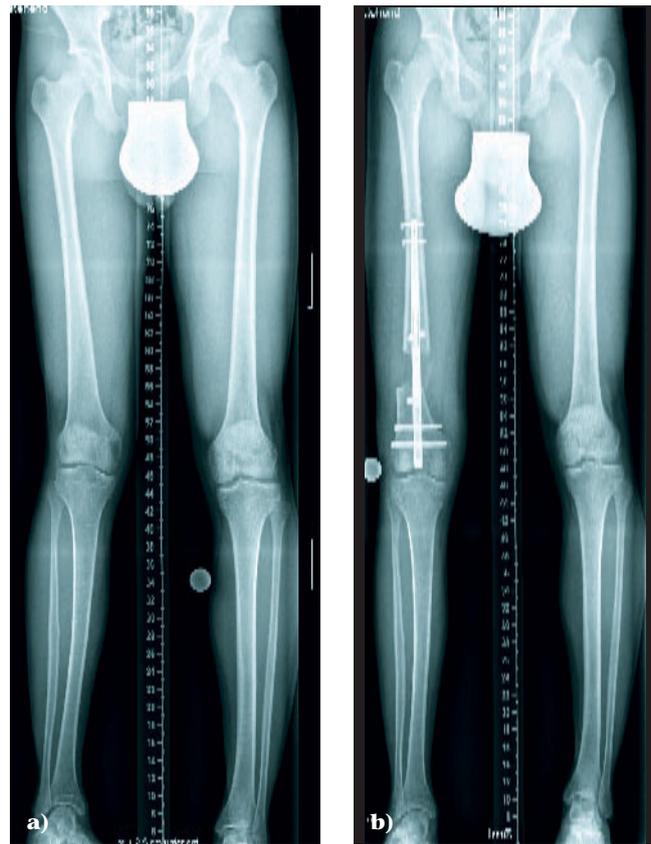


Abbildung 17a–b Eine Verlängerung und gleichzeitige Achskorrektur mit einem Precice-Nagel war bei diesem Patienten mit kongenitalem Femurdefekt über einen retrograden Zugang möglich **a, b)**.

störung der Wachstumsfuge durch perkutanes Überbohren (Abb. 14).

Für uns stellt die Operation nach Canale die zuverlässigste Methode dar, die minimalinvasiv durchgeführt werden kann und keinen Zweiteingriff zur Metallentfernung benötigt. Bei dieser Operationstechnik verwenden wir kanülierte Bohrer über einen kleinen Zugang, üblicherweise von medial. Im Bildwandler erfolgt das Einbringen des Bohrdrachts exakt im Fugenverlauf. Es werden ein kleiner Hautschnitt und die Präparation an das Periost durchgeführt. Das Weichteilgewebe muss beim Einbringen der Bohrer geschützt werden. Der Bohrdracht wird an der Gegenseite mit einer groben Klemme fixiert und es erfolgt das stufenweise Aufbohren auf 11–13 mm, je nach Alter und Fuge. Wir verwenden hierfür kanülierte Bohrer des Kreuzbandinstrumenten-

tariums. Größte Vorsicht ist geboten, um nicht mit dem scharfen Bohrer ohne Führung durch den Bohrdracht nach dorsal oder ventral abzuleiten. Am Ende erfolgt noch das Ausschaben der Fuge mit dem scharfen Löffel und eine intensive Spülung und Entfernung des Bohrmehls. Postoperativ erfolgt eine Teilbelastung für 4 Wochen und Sportverbot für 6 Wochen.

Wachstumsbremsung: Was sagt die Literatur?

Es gibt nur wenige Studien, die das Ergebnis der Wachstumsbremsung evaluieren, und auch die Komplikationen nach Canale sind kaum beschrieben. In einer Studie konnte gezeigt werden, dass der unilaterale Zugang zur Ablation der Fuge bei der Operation nach Canale aus-

reichend ist und sich ein symmetrischer Wachstumsstopp ergibt [60].

In einer weiteren Studie wurde die Operation nach Canale der Technik nach Phemister vorgezogen [61]. An Komplikationen sind in der Literatur die Epiphysenlösung, die intraartikuläre Perforation, die Achsabweichung, der Knochensporn an der Bohrstelle, Bewegungseinschränkungen und Infektionen beschrieben [58].

Fugenschluss: Was nun?

Ist das Zeitfenster für die Wachstumslenkung verpasst, so können mit modernen operativen Verfahren dennoch eine präzise Deformitätenkorrektur und ein Beinlängenausgleich erfolgen. Neben den bewährten Plattensystemen zur kniegelenknahen Umstellung hat be-

sonders die Einführung sehr exakter, computergesteuerter Fixateure und intramedullärer Verlängerungsnägel (Fitbone, Wittenstein; Precice, Ellipse) die Ergebnisse verbessert und die Invasivität minimiert.

Mit dem Taylor Spatial Frame (Smith und Nephew) können Fehlstellungen in allen Ebenen simultan korrigiert werden (Abb. 15). Bei massiven Beinlängendifferenzen kann bereits ab dem 3. Lebensjahr ein Ausgleich begonnen werden.

Die Einführung kleiner Nageldurchmesser (bis zu 8,5 mm) bei den Precice-Verlängerungsnägeln erlaubt heutzutage eine interne Verlängerung über einen antegraden Femurzugang bereits ab etwa dem 10. Lebensjahr, weil dann durch eine Störung der Trochanterfuge keine relevante Veränderung der Anatomie oder Länge mehr zu erwarten ist (Abb. 16). Nach Wachstumsabschluss ist bei retrogradem Einbringen am Femur eine Beinverlängerung auch mit gleichzeitiger akuter Achskorrektur möglich (Abb. 17).

Natürlich sind diese Verfahren invasiver als die Wachstumslenkung. Bei der alleinigen Beinlängendifferenz steht mit der Nagelverlängerung über den antegraden Zugang ein Verfahren mit minimalinvasivem Charakter zur Verfügung, bei dem kein Gelenk eröffnet wird und das auch von den Patienten als sehr schonend wahrgenommen wird. Hierdurch hat sich die Indikation zu der Operation nach Canale mit doch fallweise deutlicher Restbeinlängendifferenz etwas relativiert. Bei größeren Differenzen an Femur und Tibia ist es eine elegante Möglichkeit, die Differenz über eine Operation nach Canale an der Tibia zu reduzieren und die Restdifferenz exakt und gut kontrollierbar mit einer intramedullären Oberschenkelverlängerung zu korrigieren. Auch eine Kombination aus Korrektur der Fehlstellung über Hemiepiphysektomie und spätere antegrade intramedulläre Verlängerung ist gut möglich.

Die Wachstumslenkung, insbesondere zur Achskorrektur, hat sich über viele Jahre bewährt und erlaubt eine mi-

nimalinvasive Korrektur, die auch von den Kindern gut akzeptiert wird und keine größeren schulischen und sportlichen Pausen aufzwingt. Besonders in den ersten Lebensjahren sind die Unterscheidung von pathologisch zu physiologisch und das Wissen, wie lange die Phase der aggressiven Observanz andauern darf, entscheidend. Obwohl die Operationen zur Wachstumslenkung technisch einfach sind, sind die richtige Indikationsstellung, das Erkennen von Begleitproblematiken und -pathologien und der richtige Zeitpunkt der Operation große Herausforderungen, die viel kinderorthopädisches Wissen und Erfahrung benötigen. 

Interessenkonflikte: keine angegeben

Korrespondenzadresse

PD Dr. Christof Radler
Abteilung für Kinderorthopädie und
Fußchirurgie
Orthopädisches Spital Wien
Speisinger Straße 109
A-1130 Wien
Christof.Radler@oss.at

Literatur

- Brady RJ, Dean JB, Skinner TM, Gross MT: Limb length inequality: clinical implications for assessment and intervention. *J Orthop Sports Phys Ther* 2003; 33: 221–34
- Gross RH: Leg length discrepancy: how much is too much? *Orthopedics* 1978; 1: 307–10
- Rannisto S, Okuloff A, Uitti J, Paananen M, Rannisto PH, Malmivaara A et al.: Leg-length discrepancy is associated with low back pain among those who must stand while working. *BMC Musculoskelet Disord* 2015; 16: 110
- Shapiro F: Developmental patterns in lower-extremity length discrepancies. *J Bone Joint Surg Am* 1982; 64: 639–51
- Lewin SO, Opitz JM: Fibular a/hypoplasia: review and documentation of the fibular developmental field. *Am J Med Genet Suppl* 1986; 2: 215–38
- Manner HM, Radler C, Ganger R, Grill F: Dysplasia of the cruciate ligaments: radiographic assessment and classification. *J Bone Joint Surg Am* 2006; 88: 130–7
- Manner HM, Radler C, Ganger R, Grill F: Knee deformity in congenital longitudinal deficiencies of the lower extremity. *Clin Orthop Relat Res* 2006; 448: 185–92
- Achterman C, Kalamchi A: Congenital deficiency of the fibula. *J Bone Joint Surg Br* 1979; 61-B: 133–7
- Pappas AM: Congenital abnormalities of the femur and related lower extremity malformations: classification and treatment. *J Pediatr Orthop* 1983; 3: 45–60
- Radler C, Antonietti G, Ganger R, Grill F: Recurrence of axial malalignment after surgical correction in congenital femoral deficiency and fibular hemimelia. *Int Orthop* 2011; 35(11): 1683–8
- Radler C, Myers AK, Hunter RJ, Arrabal PP, Herzenberg JE: Prenatal diagnosis of congenital femoral deficiency and fibular hemimelia. *Prenat Diagn* 2014; 34: 940–5
- Porter DE, Emerton ME, Villanueva-Lopez F, Simpson AH: Clinical and radiographic analysis of osteochondromas and growth disturbance in hereditary multiple exostoses. *J Pediatr Orthop* 2000; 20: 246–50
- Rubinovitch M, Said SE, Glorieux FH, Cruess RL, Rogala E: Principles and results of corrective lower limb osteotomies for patients with vitamin D-resistant hypophosphatemic rickets. *Clin Orthop Relat Res* 1988; 237: 264–70
- Petje G, Meizer R, Radler C, Aigner N, Grill F: Deformity correction in children with hereditary hypophosphatemic rickets. *Clin Orthop Relat Res* 2008; 466: 3078–85
- Kim SJ, Pierce W, Sabharwal S: The etiology of short stature affects the clinical outcome of lower limb lengthening using external fixation. A systematic review of 18 trials involving 547 patients. *Acta Orthop* 2014; 85: 181–6
- Paley D, Tetsworth K: Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of uniaxial angular deformities of the tibia or femur. *Clin Orthop Relat Res* 1992; 280: 48–64
- Paley D, Herzenberg JE, Tetsworth K, McKie J, Bhave A: Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. *Orthop Clin North Am* 1994; 25: 425–65
- Bone Ninja App: <https://itunes.apple.com/at/app/bone-ninja/id554151432?mt=8>
- Canale ST, Christian CA: Techniques for epiphysektomie about the knee. *Clin Orthop Relat Res* 1990; 255: 81–5
- Phemister DB: Operative arrestment of longitudinal growth of bones in the treatment of deformities. *J Bone Jt Surg Am* 1933; 15: 1–15
- Sharma L, Song J, Dunlop D, Felson D, Lewis CE, Segal N et al.: Varus and valgus alignment and incident and progressive knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 2010; 69: 1940–5
- Sharma L, Song J, Felson DD, Cahue S, Shamiyeh E, Dunlop DD: The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. *JAMA* 2001; 286: 188–95

23. Farr S, Kranzl A, Pablik E, Kaipel M, Ganger R: Functional and radiographic consideration of lower limb malalignment in children and adolescents with idiopathic genu valgum. *J Orthop Res* 2014; 32: 1362–70
24. Paley D: Principles of Deformity Correction. Berlin: Springer; 2002
25. Stevens PM, Maguire M, Dales MD, Robins AJ: Physal stapling for idiopathic genu valgum. *J Pediatr Orthop* 1999; 19(5): 645–9
26. Blount WP, Clarke GR: Control of bone growth by epiphyseal stapling. *J Bone Jt Surg Am* 1949; 31: 464–78
27. Stevens PM: Guided growth for angular correction: a preliminary series using a tension band plate. *J Pediatr Orthop* 2007; 27: 253–9
28. Radler C, Ganger R, Petje G, Suda R, Grill F: The eight-Plate – a new implant for temporary hemiepiphysodesis (Abstract). *Orthop Proc* 2010; 92 – B (SUPP II): 336–7
29. Burghardt RD, Herzenberg JE: Temporary hemiepiphysodesis with the eight-Plate for angular deformities: mid-term results. *J Orthop Sci* 2010; 15: 699–704
30. Jelinek EM, Bittersohl B, Martiny F, Scharfstädt A, Krauspe R, Westhoff B: The eight-Plate versus physal stapling for temporary hemiepiphysodesis correcting genu valgum and genu varum: a retrospective analysis of thirty five patients. *Int Orthop* 2012; 36: 599–605
31. Boero S, Michelis MB, Riganti S: Use of the eight-Plate for angular correction of knee deformities due to idiopathic and pathologic physis: initiating treatment according to etiology. *J Child Orthop* 2011; 5: 209–16
32. Kempainen JW, Hood KA, Roorcroft JH, Schlechter JA, Edmonds EW: Incomplete Follow-up After Growth Modulation Surgery: Incidence and Associated Complications. *J Pediatr Orthop* 2015, Apr 22 (Epub ahead of print)
33. Stevens PM, Kennedy JM, Hung M: Guided growth for ankle valgus. *J Pediatr Orthop* 2011; 31: 878–83
34. Stevens PM, Anderson LA, Gililand JM, Novais E: Guided growth of the trochanteric apophysis combined with soft tissue release for Legg-Calvé-Perthes disease. *Strategies Trauma Limb Reconstr* 2014; 9: 37–43
35. Van Tongel A, Fabry G: Epiphysodesis of the greater trochanter in Legg-Calvé-Perthes disease: The importance of timing. *Acta Orthop Belg* 2006; 72: 309–13
36. Klatt J, Stevens PM: Guided growth for fixed knee flexion deformity. *J Pediatr Orthop* 2008; 28: 626–31
37. MacWilliams BA, Harjinder B, Stevens PM: Guided growth for correction of knee flexion deformity: a series of four cases. *Strategies Trauma Limb Reconstr* 2011; 6: 83–90
38. Al-Aubaidi Z, Lundgaard B, Pedersen NW: Anterior distal tibial epiphysodesis for the treatment of recurrent equinus deformity after surgical treatment of clubfeet. *J Pediatr Orthop* 2011; 31: 716–20
39. Arami A, Bar-On E, Herman A, Velkes S, Heller S: Guiding femoral rotational growth in an animal model. *J Bone Joint Surg Am* 2013; 95: 2022–7
40. Friberg O: Clinical symptoms and biomechanics of lumbar spine and hip joint in leg length inequality. *Spine (Phila Pa 1976)* 1983; 8: 643–51
41. Morscher E: Etiology and Pathophysiology of Leg Length Discrepancies. In: Hungerford DS (ed): *Leg Length Discrepancy/The Injured Knee*. New York: Progress in Orthopaedic Surgery; 1977: 9–19
42. Greulich W, Pyle S: Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist. *Radiogr Atlas Skelet Dev Hand Wrist* Stanford Stanford Univ Press 1959
43. Calfee RP, Sutter M, Steffen JA, Goldfarb CA: Skeletal and chronological ages in American adolescents: current findings in skeletal maturation. *J Child Orthop* 2010; 4: 467–70
44. Diméglio A, Charles YP, Daures JP, de Rosa V, Kaboré B: Accuracy of the Sauvegrain method in determining skeletal age during puberty. *J Bone Joint Surg Am* 2005; 87: 1689–96
45. Tanner JM, Whitehouse RH, Marshall WA, Healy MJR, Goldstein H: Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 Method). London: Academic Press; 1975
46. Hoppenfeld S, Lonner B, Murthy V, Gu Y: The rib epiphysis and other growth centers as indicators of the end of spinal growth. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004; 29: 47–50
47. Paley J, Talor J, Levin A, Bhava A, Paley D, Herzenberg JE: The multiplier method for prediction of adult height. *J Pediatr Orthop* 2004; 24: 732–7
48. Anderson M, Messner MB, Green WT: Distribution of lengths of the normal femur and tibia in children from one to eighteen years of age. *J Bone Joint Surg Am* 1964; 46: 1197–202
49. Paley D, Bhava A, Herzenberg JE, Bowen JR: Multiplier method for predicting limb-length discrepancy. *J Bone Joint Surg Am* 2000; 82-A: 1432–46
50. Anderson M, Green WT, Messner MB: Growth and predictions of growth in the lower extremities. *J Bone Joint Surg Am* 1963; 45-A: 1–14
51. Moseley CF: A straight line graph for leg length discrepancies. *Clin Orthop Relat Res* 1978; 136: 33–40
52. Sanders JO, Howell J, Qiu X: Comparison of the Paley method using chronological age with use of skeletal maturity for predicting mature limb length in children. *J Bone Joint Surg Am* 2011; 93: 1051–6
53. Multiplier App: <https://itunes.apple.com/us/app/multiplier/id460335161?mt=8>
54. Kasser JR, Jenkins R: Accuracy of leg length prediction in children younger than 10 years of age. *Clin Orthop Relat Res* 1997; 338: 9–13
55. Aguilar JA, Paley D, Paley J, Santpure S, Patel M, Herzenberg JE et al.: Clinical validation of the multiplier method for predicting limb length discrepancy and outcome of epiphysodesis, part II. *J Pediatr Orthop* 2005; 25: 192–6
56. Gaumétou E, Mallet C, Souchet P, Mazda K, Ilharborde B: Poor Efficiency of eight-Plates in the Treatment of Lower Limb Discrepancy. *J Pediatr Orthop* 2015, May 15 (Epub ahead of print)
57. Métaizeau JP, Wong-Chung J, Bertrand H, Pasquier P: Percutaneous epiphysodesis using transphyseal screws (PETS). *J Pediatr Orthop* 1998; 18: 363–9
58. Campens C, Mousny M, Docquier PL: Comparison of three surgical epiphysodesis techniques for the treatment of lower limb length discrepancy. *Acta Orthop Belg* 2010; 76: 226–32
59. Bowen JR, Johnson WJ: Percutaneous epiphysodesis. *Clin Orthop Relat Res* 1984; 190: 170–3
60. Horn J, Gunderson RB, Wensaas A, Steen H: Percutaneous epiphysodesis in the proximal tibia by a single-portal approach: evaluation by radiostereometric analysis. *J Child Orthop* 2013; 7: 295–300
61. Babu LV, Evans O, Sankar A, Davies AG, Jones S, Fernandes JA: Epiphysodesis for limb length discrepancy: A comparison of two methods. *Strateg Trauma Limb Reconstr* 2014; 9: 1–3