

# Neuroorthopädische Gangstörungen gezielt behandeln

Optionen bei Kindern und Jugendlichen mit neurologischen Erkrankungen

Harald Böhm, Johannes Wolz, Christel Schäfer, Ferdinand Wagner

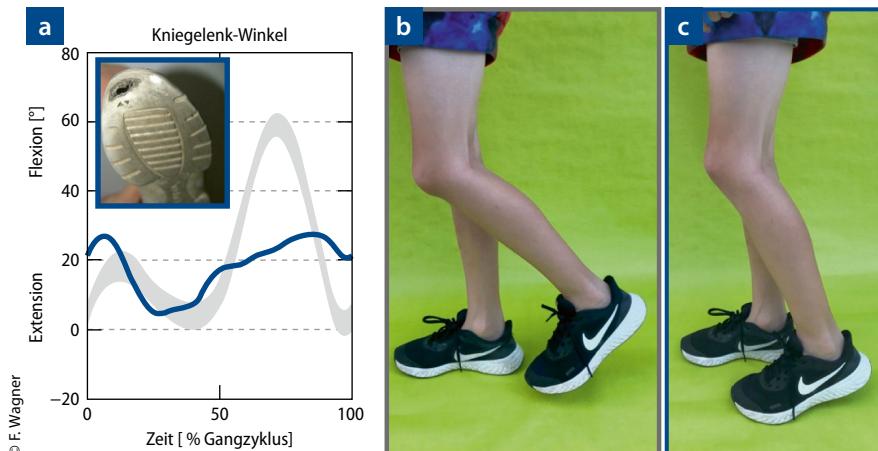
Neurologische Erkrankungen wie Zerebralparese oder Muskeldystrophie gehen oft mit orthopädischen Problemen einher. Resultierende Gangstörungen werden – je nach Schweregrad und Ursache – mit konservativen oder operativen Maßnahmen behandelt. Ziel ist es, das Gangbild zu verbessern, funktionelle Einschränkungen zu minimieren und so die Lebensqualität der Betroffenen zu erhöhen. Im Folgenden werden die Ansätze erläutert und anhand von Fallbeispielen illustriert.

**Z**u den häufigsten neurologischen Erkrankungen im Kindes- und Jugendalter, die mit orthopädischen Symptomen einhergehen, zählen Zerebralparese (ZP), Myelomeningozele (MMC), traumatische Hirnverletzungen (SHT), Charcot-Marie-Tooth-Krankheit (CMT) und Muskeldystrophie. Sie können zu Muskelschwäche, Spastik sowie resultierenden Kontrakturen und Deformitäten führen, welche die Mobilität

und damit die gesellschaftliche Teilhabe der Betroffenen erheblich einschränken. Besonders für Kinder und Jugendliche ist eine gute Gehfähigkeit essenziell, um mit Gleichaltrigen Schritt halten und aktiv am Alltag teilnehmen zu können.

## Klassifikation neuroorthopädischer Gangstörungen

Neuroorthopädische Gangstörungen werden in drei Kategorien unterteilt:



**Abb. 1a:** Kniebeugung im Gangzyklus normal entwickelter Kinder und Jugendlicher (grau, einschließlich einfacher Standardabweichung) sowie steifes Gangbild eines Patienten mit unzureichender und verzögter Kniebeugung in der Schwungphase (blau). **b:** normale Kniebeugung in der Schwungphase bei 70 % des Gangzyklus; **c:** reduzierte Beugung beim steifen Gang. Das unzureichende Anheben des Fußes führt zu verstärktem Schuhspitzenabrieb durch Schleifen.

**1.** Primäre Gangstörungen resultieren direkt aus der zugrunde liegenden neurologischen Erkrankung. Ein typisches Beispiel ist der Fallfuß, der bei einer Hemiparese infolge einer Hirnschädigung auftreten kann.

**2.** Sekundäre Gangstörungen sind die Folge von Kontrakturen oder Deformitäten, die durch die neurologische Grunderkrankung bedingt sind. Häufig ist etwa der spastische Spitz- oder Klumpfuß, der durch ein muskuläres Ungleichgewicht zwischen den Invertoren und Evertoren des Fußes verursacht wird.

**3.** Tertiäre Gangbeeinträchtigungen entstehen durch Kompensationsmechanismen des Körpers, um primäre und sekundäre Störungen auszugleichen. Sie führen oft zu auffälligen Gangveränderungen, die nicht nur kosmetisch stören, sondern langfristig auch Überlastungsbeschwerden nach sich ziehen können. Häufige Beispiele sind der Steppergang, das Duchenne-Hinken bei Hüftabduktorenschwäche oder die Zirkumduktion beim Fallfuß. Durch die adäquate Behandlung der primären und sekundären Ursachen verschwinden die Kompensationen in der Regel.

Anhand der fünf häufigsten Gangstörungen [1] steifer Gang, Einwärts-, Kauer-, Spitzfuß- und Fallfußgang werden nachfolgend verschiedene Therapieoptionen vorgestellt, die darauf abzielen, das Gangbild zu verbessern und funktionelle Einschränkungen zu reduzieren. Die Beispiele beziehen sich primär auf Kinder und Jugendliche, lassen sich jedoch – mit Ausnahme der wachstumsbedingten Effekte – auch auf erwachsene Personen mit vergleichbaren Gangstörungen übertragen.

## Steifer Gang

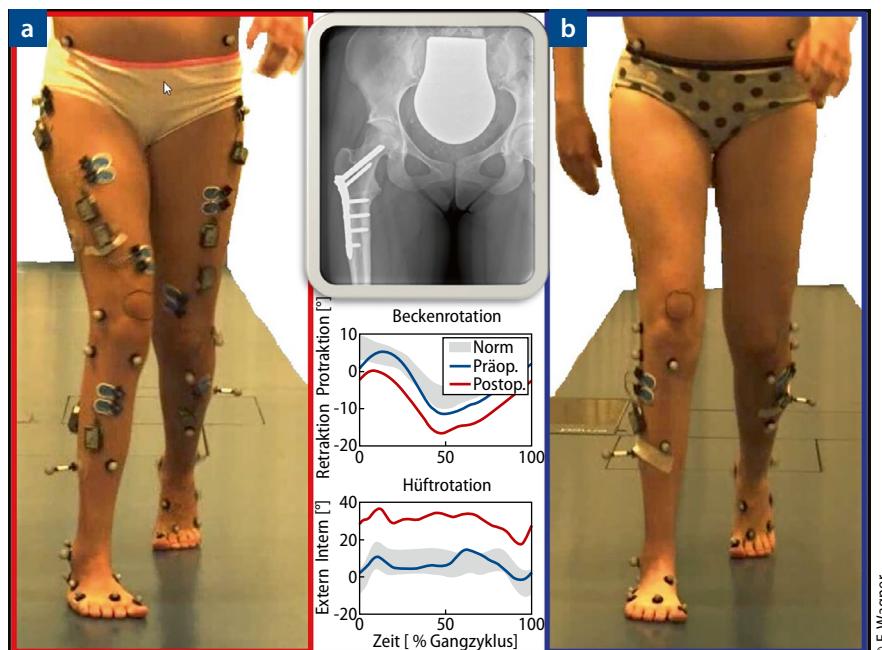
Ein steifer Gang beschreibt ein Gangbild mit unzureichender Kniebeugung in der Schwungphase (Abb. 1) [2]. Die Folge ist eine eingeschränkte Bodenfreiheit, was das hörbare Schleifen der Fußspitzen auf dem Untergrund verursacht und die Stolpergefahr erhöht. Aufschlussreich bei der klinischen Untersuchung ist oft der Zustand der Schuhsohlen: Häufig zeigen die Schuhspitzen eine starke Abnutzung. Das wird oft mit einem Fallfuß in Verbindung gebracht, bei intakter Fußhebung kann die Ursache allerdings im steifen Gang liegen. In solchen Fällen führt eine Fußheberorthese nicht zu einer Verbesserung.

Hauptursache für ein steifes Gangbild ist eine Spastizität des M. rectus femoris, die ein rasches Anwinkeln des Kniegelenkes in der Schwungphase verhindert. Aber auch eine Schwäche des M. gastrocnemius und der Hüftbeuger können die Einleitung der Kniebeugung erschweren. Eine operative Indikation zum Transfer des M. rectus femoris von der Kniescheibe zu den Beugemuskeln, wie dem M. semitendinosus, zur Verbesserung der Kniebeugung in der Schwungphase besteht laut Dreher bei folgenden drei Anzeichen [3]:

1. Positives Ergebnis beim Duncan-Ely-Test (Widerstand gegen schnelle Kniebeugung in Bauchlage).
2. Erhöhte EMG-Aktivität des M. rectus femoris in der Schwungphase.
3. Reduzierte und zeitlich verzögerte Kniebeugung in der Schwungphase in der Ganganalyse.

## Therapie

Das steife Gangbild stellt physiotherapeutisch und orthopädiotechnisch eine besondere Herausforderung dar: Auf unebenem Untergrund können Betroffene ihre Knie ausreichend beugen, um Bodenfreiheit zu gewährleisten, während sie im Alltag oft in ihr gewohntes Muster zurückfallen [4]. Das zeigt, dass trotz signifikanter Rectus-Spastizität eine Kniebeugung möglich ist, jedoch auf ebenem Boden nicht genutzt wird. Ob Training auf unebenem Untergrund das Gangbild verbessert, ist unklar. Injektionen von Botulinumtoxin in den M. rectus femoris reduzieren temporär die Spastizität und können in Kombi-



**Abb. 2a:** Patientin mit einwärts gerichteter Stellung von Knien und Fußspitzen. **b:** Zustand nach intertrochantärer femoraler Derotationsosteotomie rechts. Die Ganganalyse (Mitte) zeigt präoperativ eine ausgeprägte Hüftinnenrotation sowie eine Beckenretraktion über den gesamten Gangzyklus auf der rechten Seite (rot). Postoperativ haben sich sowohl die Hüftrotation als auch die Beckenposition deutlich normalisiert (blau).

nation mit Training und orthopädiotechnischen Maßnahmen die Kniebeugung fördern. Als orthopädiotechnische Ansätze bieten sich dynamische Knieorthesen oder funktionelle Elektrostimulation der Kniebeuger an, was indessen mit erheblichem Aufwand verbunden ist. Alternativ können Abrollhilfen unter dem Schuh die Einleitung der Kniebeugung erleichtern.

## Einwärtsgang

Beim Einwärtsgang sind beide Oberschenkel nach innen gedreht, wodurch die Kniegelenke zueinander zeigen. Häufig richten sich auch die Fußspitzen nach innen, sie können jedoch neutral stehen, wenn der Unterschenkel nach außen verdreht ist. Zur visuellen Analyse des Gangbildes kann es hilfreich sein, die Kniescheiben zu markieren (Abb. 2). Das Aneinanderreiben der Knie beeinträchtigt den flüssigen Gang und erhöht die Stolpergefahr, insbesondere wenn die Fußspitzen ebenfalls nach innen zeigen und beim Gehen aneinanderstoßen. Ursachen für einen Einwärtsgang können eine erhöhte femorale Antetorsion,

eine Flexionskontraktur der Hüfte sowie eine Schwäche des M. gluteus maximus als Außenrotator sein.

## Therapie

Bei erhöhter femoraler Antetorsion ist eine femorale Derotationsosteotomie (FDO) indiziert. Bei gleichzeitigem Auftreten eines Kauergangs mit Einschränkung der passiven Kniestreckung (Abb. 3) wird sie suprakondylär in Kombination mit einer Extensionsosteotomie durchgeführt; andernfalls erfolgt die FDO intertrochantär. Letzteres wird anhand des Fallbeispiels einer Patientin mit rechtsbetonter bilateraler ZP in Abb. 2 veranschaulicht. Auf der rechten Seite weist die Patientin eine erhöhte Antetorsion mit vermehrter Hüftinnenrotation auf, wodurch der linke Fuß nach innen weist. Wäre das Becken nicht retrahiert, würde der Fuß noch stärker nach innen zeigen. Nach erfolgter FDO von 30° weisen die rechte Kniescheibe und der rechte Fuß nach vorne in Gehrichtung. Die 3D-Ganganalyse bestätigt die Normalisierung der Hüftrotation. Auch die zuvor bestehende Beckenretraktion hat

sich normalisiert, was auf eine kompensatorische Reaktion auf den nach innen zeigenden Fuß hindeutet.

Da die FDO eine hohe Rezidivgefahr birgt [5], sollte sie möglichst lange hinausgezögert werden, idealerweise bis nach dem pubertären Wachstumsschub [6]. Die Korrektur der schlechteren Seite kann zu einem besseren Gangbild auf der Gegenseite führen [7]. Für eine ganzheitliche Beurteilung ist die gesamte biomechanische Kette zu berücksichtigen: Beckenretraktion/-protraktion, Hüftrotation, Tibiatorsion und Fußabduktion/-adduktion [5, 7]. Ziel der Operation ist es, Oberschenkel und Fuß in eine nach vorne gerichtete Position zu bringen. Studien unterstreichen, dass der Einsatz der instrumentellen 3D-Ganganalyse bei komplexen Drehfehlstellungen die Operationsergebnisse verbessert [8].

Neben operativen Korrekturen können muskuläre Verkürzungen und Schwächen gezielt behandelt werden, indem betroffene Muskeln in Außenrotation gedehnt und gekräftigt werden. Im Bereich der Orthopädietechnik kommen Becker-Drehstäbe (Becker Orthopedic) oder Außenrotationsbandagen

wie der Donjoy S.E.R.F. Strap (Enovis) zum Einsatz. Die Compliance ist aufgrund der hüftübergreifenden Anbringung aber häufig eingeschränkt.

### Kauergang

Der Kauergang ist durch das Gehen mit gebeugten Hüft- und Kniegelenken gekennzeichnet (Abb. 3) [2]. Dieses Gangmuster führt zu einem erhöhten Energieverbrauch und einer vermehrten Belastung der Kniegelenke. Die Ursachen für einen Kauergang sind vielfältig und können kombiniert auftreten. Distal nach proximal betrachtet, zählen hierzu

1. ein reduzierter Fußhebel bei Mittelfußinstabilität oder starker Innenbeziehungsweise Außenrotation des Fußes relativ zur Gangrichtung oder Knieachse,
2. eine Schwäche der Wadenmuskulatur, welche die Unterschenkelvorneigung in der Standphase nur unzureichend kontrollieren kann,
3. eine Knieflexionskontraktur, bedingt durch eine Verkürzung der hinteren Gelenkkapsel, Deformierungen oder eine Verkürzung der Kniebeugermuskulatur, sowie eine Schwäche der

Kniestreckmuskulatur durch eine starke Muskelverkürzung oder eine hochstehende Kniescheibe,

4. eine Flexionskontraktur der Hüfte durch den M. iliopsoas sowie eine Spastik des M. rectus femoris und M. adductor longus.

### Therapie

Zur Verbesserung des Fußhebels bei Knickfußstellung und flexilem Fuß kann zum Beispiel eine Kalkaneus-Verlängerungsosteotomie vorgenommen werden. Hierbei wird das Fersenbein verlängert, um die Fußstellung zu korrigieren und die Hebelwirkung zu verbessern. Bei stark deformierten und fixierten Fußdeformitäten kann dagegen eine Triple-Arthrodesis nach Lambrinudi die Fußstabilität wiederherstellen.

Bei kleineren Knieflexionskontrakturen von 10–20° mit Restwachstum von mindestens zwei Jahren kann eine Wachstumslenkung mittels anteriorer distaler femoraler Hemiepiphiodese das passive Bewegungsausmaß steigern [9]. Die Rate der Kontrakturverbesserung beträgt 0,5–1,0° pro Monat, wobei größere Kontrakturen schneller korrigiert werden [10]. Besonders interessant ist dieses minimalinvasive Verfahren für Patientinnen und Patienten, bei denen die nachfolgend beschriebene Extensionsosteotomie wegen eingeschränkter kognitiver und/oder rehabilitativer Fähigkeiten kontraindiziert ist.

Deutliche Verbesserungen des Kauerganges lassen sich mittels der distalen femoralen Extensionsosteotomie (DFEO) erzielen. Dabei handelt es sich jedoch um einen umfangreichen Eingriff mit längerer Heilungsdauer. In Kombination mit einer Patelladistalisierung ist das Verfahren besonders effektiv [11]. Bei der DFEO wird ein anteriorer Keil aus dem distalen Femur entfernt, während die Patelladistalisierung die durch den Eingriff entstehende oder bereits vorhandene Quadrizeps-Laxheit ausgleicht.

Techniken zur Patelladistalisierung unterscheiden sich zwischen Betroffenen im Wachstum und solchen nach Wachstumsabschluss [12]. Bei Kindern im Wachstum (Abb. 3) wird die Patellar sehne durchtrennt, ohne das Wachstumszentrum der Tuberositas tibiae zu beeinträchtigen. Zur zusätzlichen Stabi-

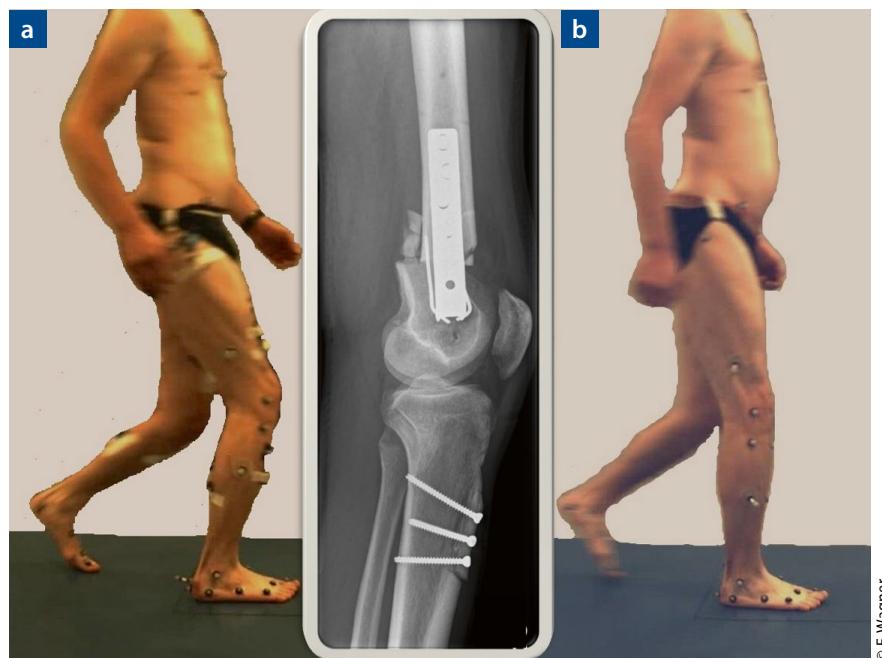


**Abb. 3a:** Zwölfjähriger Patient mit Kauergang vor femoraler Extensionsosteotomie und weichteiliger Patelladistalisierung. Zur Korrektur einer Tibia vara wurde zudem eine Wachstumslenkung an der proximalen lateralen Tibia durchgeführt (Mitte). **b:** Postoperativer Zustand im Alter von 14 Jahren mit stark verbesserter Kniestreckung. Wegen der weiterhin vorhandenen Hüftbeugekontraktur besteht beim Gehen eine Beckenvorkippung.

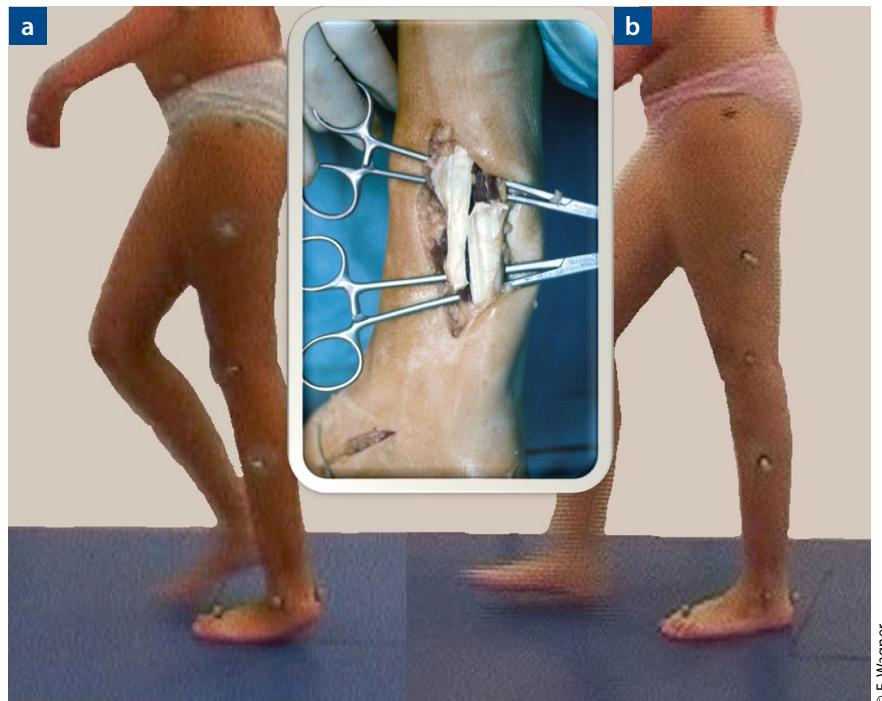
lisierung wird eine hochfeste Kunstfaser- oder Drahtschlinge eingesetzt, die durch Bohrkanäle in der Patella und der proximalen Tibia geführt wird und die Sehne schützt. Bei skelettal ausgereiften Patientinnen und Patienten (Abb. 4) wird die Sehneninsertion mobilisiert, zusammen mit einem Knochenblock distal versetzt und mittels Kompressionsschrauben fixiert. Besteht zudem eine Verkürzung der Hüftbeuger, ist ein ventrales Hüftrelease indiziert, um eine postoperative Beckenvorkippung zu vermeiden [13]. Eine solche Kippung kann zu einer Rumpfvorverlagerung und kompensatorisch verstärkten Lendenlordose führen – wie in Abb. 3 zu erkennen, wo dieser Aspekt nicht ausreichend berücksichtigt wurde. Das kann wiederum Rückenbeschwerden nach sich ziehen.

Die distale Verlängerung der Hamstrings ist beim Kauergang oft weniger effektiv; es wurde eine hohe Rate unvollständiger Korrekturen und Rezidive beobachtet [14]. Die präoperative Bestimmung der Muskellängen mittels 3D-Ganganalyse verbessert die Ergebnisse. Gerade bei Betroffenen mit ZP besteht oft bereits eine Beckenvorkippung, was zu einer scheinbaren Verkürzung der Kniebeuger führt [15]. Eine zusätzliche Verlängerung dieser Muskeln könnte das Becken weiter nach ventral kippen und eine Hyperlordose sowie Rückenschmerzen begünstigen.

Konservative Maßnahmen wie Unterschenkelorthesen sind insbesondere bei Ursachen im Bereich von Fuß und Sprunggelenk vielversprechend [16]. Am Kniegelenk kann eine Knie-Knöchel-Fuß-Orthese (knee ankle foot orthosis, KAFO) mit extendierender Feder eingesetzt werden. Diese kann jedoch die Kniebeugung in der Schwungphase beeinträchtigen und das Gehen erschweren. Bei korrekter Indikation lässt sich durch Unterschenkelorthesen im Durchschnitt eine Verbesserung der Kniestreckung von  $17^\circ$  erzielen, während Physiotherapie mit Kräftigungs- und Dehnübungen nur eine mittlere Steigerung von  $5^\circ$  bewirkt [16]. Bei Personen mit MMC und Kauergang aufgrund eines Ausfalls der Wadenmuskulatur und/oder eines Hackenfußes sind Unterschenkelorthesen besonders effektiv, da – anders als bei einer ZP – meist keine be-



**Abb. 4a:** Erwachsener Patient mit Kauergang vor femoraler Extensionsosteotomie und knöcherner Patelladistalisierung (Mitte). **b:** Postoperativer Zustand mit deutlich verbesserter Kniestreckung und aufrechterer Körperhaltung.



**Abb. 5a:** Zwölfjährige Patientin mit unilateraler Zerebralparese und Spitzfuß. In der Standphase ist auf der linken Seite nur der Vorfuß in Kontakt mit dem Boden, während der Mittelfuß stark durchgebogen ist (Midfoot-Break). **b:** Nach der Durchführung einer z-förmigen Achillessehnenverlängerung (Mitte) hat der linke Fuß vollständigen Bodenkontakt, was eine stabile Basis für das Gehen und Stehen bildet.

gleitenden Kontrakturen bestehen. Eine Unterschenkelorthese mit dorsaler Feder kann die Energiespeicherung der Wadenmuskulatur beim Gehen ersetzen. Somit kann sie nicht nur die Aufrichtung aus dem Kauergang unterstützen, sondern auch zu einem dynamischen Vortrieb beitragen [17].

### Spitzfußgang

Beim Spitzfußgang liegt eine vermehrte Plantarflexion des Sprunggelenkes in der Standphase vor. Wegen der betonten Vorfußbelastung wird er auch als Zehengang bezeichnet. Betroffene haben Probleme, sicher zu stehen und zu gehen, da die Unterstützungsfläche des Fußes verkleinert ist. Dies führt sekundär zu einer übermäßigen Biegebelastung des Mittelfußes [18]. Häufig tritt zudem ein Genu recurvatum auf, da der Bodenkraftvektor beim Spitzfuß deutlich vor dem Kniegelenk liegt und ein streckendes Moment verursacht. Gibt der Fuß in der Sagittalebene nach, wird von „Durchbrechen“

gesprochen [19]. Auch der Kauergang kann zu einer überwiegenden Vorfußbelastung führen, weshalb ein Vorfußkontakt beim Gehen nicht automatisch auf einen Spitzfußgang schließen lässt.

Bei Personen mit ZP sind Verkürzung und Spastizität der Wadenmuskulatur die häufigsten Ursachen für den Spitzfußgang. Im Falle einer Muskeldystrophie führt die fibroadipöse Degeneration der Muskelfasern zu Kontrakturen der Wadenmuskulatur. Bei der CMT, auch als hereditäre motorisch-sensible Neuropathie bekannt, führt das Ungleichgewicht der Muskulatur (schwacher M. tibialis anterior und starker M. peroneus longus) zu Fußheberschwäche und einer Equinusdeformität des Rückfußes. Häufig liegt eine Kavusfehlstellung vor. Vor der Behandlung ist zu klären, ob die Vorfußbelastung ausschließlich durch den Kavus und den plantarflexierten ersten Strahl oder durch eine zusätzlich vorhandene Equinusdeformität des Rückfußes verursacht wird, die ebenfalls therapiert werden muss [20].

gelenkflexion. Daher sollte die Achillessehnenverlängerung stets gezielt und maßvoll durchgeführt werden, um eine zu starke Schwächung der Wadenmuskulatur zu vermeiden. Eine unkontrollierte Verlängerung kann irreversibel zu einem Genu recurvatum und einer Hackenfußdeformität führen.

Konservativ lässt sich eine Spitzfußstellung bei Wadenmuskelverkürzung durch Unterschenkelorthesen verbessern, welche die Plantarflexion sperren und so die Spitzfußstellung in der Standphase korrigieren. Eine konsequente Tragezeit von mehr als 7,8 Stunden pro Tag über drei Monate kann zu einer klinisch relevanten Steigerung der maximalen Dorsalextension in der Standphase führen [21]. Manuelles Dehnen als alleinige Intervention zeigte dagegen keine signifikante Verbesserung [22].

### Fallfußgang

Beim Fallfußgang ist die Fußhebung in der Schwungphase entweder reduziert oder nicht vorhanden. Das führt dazu, dass beim Aufsetzen der Vorfuß statt die Ferse den Boden berührt. Die verminderte Bodenfreiheit erhöht die Stolpergefahr, was oft durch den Verschleiß der Schuhspitze sichtbar wird. Bei einseitig betroffenen Patientinnen und Patienten, etwa mit Hemi- oder Peronäusparese durch Trauma, können kompensatorische Bewegungen der gesunden Seite (Vaulting) zu Überbelastungen führen. Weitere häufige Gangstörungen sind „Hip Hiking“ und Steppergang, die der Erlangung der nötigen Bodenfreiheit dienen. Spastizität der Wadenmuskulatur und Kontrakturen tragen ebenfalls zur reduzierten Dorsalflexion bei. Selbst bei kräftiger Fußhebermuskulatur kann der Fuß nur so weit angehoben werden, wie es die Wadenkontraktur zulässt. Bei ausgeprägten Kontrakturen tritt der Spitzfußgang auf, der beide Phasen des Gangzyklus beeinträchtigt. Hier muss klinisch zwischen einer reinen Fußheberschwäche und einer Wadenkontraktur unterschieden werden, um festzustellen, ob eine Wadenverlängerung erforderlich ist [23].

### Therapie

Als konservative Maßnahme bei Fallfußgang werden häufig vorkonfektionierte

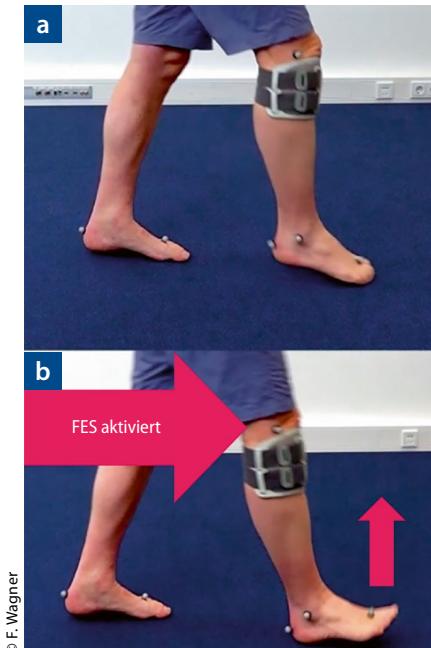


Abb. 6: Fallfuß bei einem Patienten nach Schlaganfall mit rechtsseitiger Hemiparese und Einsatz des L300 Go Systems (Otto-bock). **a:** funktionelle Elektrostimulation (FES) ausgeschaltet; **b:** bei aktiver FES in der Schwungphase und beim Initialkontakt werden Fußheber und Evertoren stimuliert, was zu einer erhöhten Bodenfreiheit führt und einen initialen Fersen- statt Vorfußkontakt ermöglicht.

Unterschenkelorthesen aus Carbon-Verbundwerkstoffen eingesetzt. Sie unterstützen die Fußhebung in der Schwungphase und reduzieren das Stolperrisiko. Ebenso kann die funktionelle Elektrostimulation (FES) zur Aktivierung der Fußhebermuskulatur angewendet werden, was besonders bei Personen mit zentralnervösen Störungen wie Schlaganfall oder Hemiparese hilfreich ist (Abb. 6). FES fördert die Muskelaktivierung und kann gleichzeitig begleitende Klumpfußstellungen korrigieren, was die Gangdynamik verbessert [24].

Die Fußheberersatzoperation ermöglicht eine langfristige orthesenfreie Mobilität, indem ein funktionstüchtiger Muskel als Fußheber transferiert wird. Häufig wird der M. tibialis posterior verwendet, der über die Interossärmembran zum M. tibialis anterior übertragen wird [25]. Vor dem Sehnentransfer muss das Sprunggelenk in Dorsalflexion beweglich sein. Die Spendersehne sollte einen MRC-Grad von mindestens 4 oder 5 aufweisen. Bei MRC-Grad 4 wird der Transfer mit einem Tenodeseffekt kombiniert, der die Dorsalflexion stabilisiert. Trotz der eingeschränkten Bewegungsamplitude nach der Operation kompensieren der Tenodeseffekt und die Kontraktion des M. tibialis posterior die fehlende Fußhebung. Da der M. tibialis posterior jedoch nur etwa ein Drittel der Auslenkung des M. tibialis anterior erreicht, kann die Beweglichkeit des Sprunggelenkes beeinträchtigt sein. Der Erfolg hängt maßgeblich von der Stärke der Spendersehne und der passiven Gelenkbeweglichkeit ab.

## Fazit für die Praxis

Für eine erfolgreiche Behandlung neurologisch bedingter Gangstörungen ist es entscheidend, das individuelle Therapieziel klar zu definieren und darauf abgestimmte Maßnahmen zu wählen. Das erfordert eine umfassende Beurteilung des Gangbildes, idealerweise unterstützt durch instrumentelle 3D-Analysen. Ohne diese standardisierte apparative Diagnostik ist es auch mit langjähriger Erfahrung oft erheblich schwerer, die korrekte Therapieindikation zu stellen. Konservative Maßnahmen wie Orthesen und Physiotherapie können eingesetzt werden, um Mobilität und Stabilität zu

verbessern. Operative Eingriffe sind bei strukturellen Deformitäten oder schweren Funktionseinschränkungen in Betracht zu ziehen. Besonders in komplexen Fällen sind die biomechanischen Zusammenhänge der gesamten Bewegungskette zu bedenken. Letztlich sollte jede Therapie darauf abzielen, die individuelle Mobilität zu maximieren und die gesellschaftliche Teilhabe der Betroffenen zu fördern.

### Prof. Dr. rer. nat. Harald Böhm

Orthopädische Kinderklinik  
Kind im Zentrum Chiemgau  
Bernauer Straße 18  
83229 Aschau im Chiemgau

### Dr. med. Johannes Wolz

Orthopädische Kinderklinik  
Kind im Zentrum Chiemgau

### Dr. med. Christel Schäfer

Orthopädische Kinderklinik  
Kind im Zentrum Chiemgau

### PD Dr. med. Ferdinand Wagner, PhD

Orthopädische Kinderklinik  
Kind im Zentrum Chiemgau

## Literatur

- Wren TAL et al. Prevalence of Specific Gait Abnormalities in Children With Cerebral Palsy. *J Pediatr Orthop.* 2005;25:79-83
- Sutherland DH et al. Common gait abnormalities of the knee in cerebral palsy. *Clin Orthop Relat Res.* 1993;139-47
- Dreher T et al. Distal rectus femoris transfer as part of multilevel surgery in children with spastic diplegia – A randomized clinical trial. *Gait Posture.* 2012;36:212-8
- Böhm H et al. Stiff-knee gait in cerebral palsy: How do patients adapt to uneven ground? *Gait Posture.* 2014;39(4):1028-33
- Böhm H et al. Correction of gait after derotation osteotomies in cerebral palsy: Are the effects predictable? *Gait Posture.* 2015;42(4):569-74
- Švehlík M et al. The influence of age at single-event multilevel surgery on outcome in children with cerebral palsy who walk with flexed knee gait. *Dev Med Child Neurol.* 2011;53:730-5
- Niklasch M et al. Asymmetric pelvic and hip rotation in children with bilateral cerebral palsy: Uni- or bilateral femoral derotation osteotomy? *Gait Posture.* 2015;41:670-5
- Wren TAL et al. Impact of gait analysis on correction of excessive hip internal rotation in ambulatory children with cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Dev Med Child Neurol.* 2013;55:919-25
- Shore BJ et al. Anterior distal femoral hemiepiphysiodesis in children with cerebral palsy: Establishing surgical indications and techniques using the modified Delphi method and literature review. *J Child Orthop.* 2022;16:65-74
- Rethlefsen SA et al. Anterior distal femoral hemiepiphysiodesis with and without patellar tendon shortening for fixed knee flexion contractures in children with cerebral palsy. *J Child Orthop.* 2020;14:415-20
- Stout JL et al. Distal Femoral Extension Osteotomy and Patellar Tendon Advancement to Treat Persistent Crouch Gait in Cerebral Palsy. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90:2470-84
- Novacheck TF et al. Distal Femoral Extension Osteotomy and Patellar Tendon Advancement to Treat Persistent Crouch Gait in Cerebral Palsy. *J Bone Joint Surg.* 2009;91:271-86
- Böhm H et al. Predictors for anterior pelvic tilt following surgical correction of flexed knee gait including patellar tendon shortening in children with cerebral palsy. *Gait Posture.* 2017;54:8-14
- Rutz E et al. Distal femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement or shortening in ambulatory children with cerebral palsy: A modified Delphi consensus study and literature review. *J Child Orthop.* 2022;16:442-53
- Laracca E et al. The effects of surgical lengthening of hamstring muscles in children with cerebral palsy – The consequences of pre-operative muscle length measurement. *Gait Posture.* 2014;39:847-51
- Böhm H et al. Effect of floor reaction ankle-foot orthosis on crouch gait in patients with cerebral palsy: What can be expected? *Prosthet Orthot Int.* 2018;42(3):245-53
- Wolf SI et al. Dynamic assist by carbon fiber spring AFOs for patients with myelomeningocele. *Gait Posture.* 2008;28:175-7
- Dixon PC et al. Ankle and midfoot kinetics during normal gait: A multi-segment approach. *J Biomech.* 2012;45(6):1011-6
- Maurer JD et al. A kinematic description of dynamic midfoot break in children using a multi-segment foot model. *Gait Posture.* 2013;38:287-92
- Beckmann NA et al. Cavovarus deformity in Charcot-Marie-Tooth disease: is there a hindfoot equinus deformity that needs treatment? *J Foot Ankle Res.* 2015;45(6):1011-6
- Oestreich C et al. Orthotic bracing to treat equinus in children with spastic cerebral palsy: Recorded compliance and impact of wearing time. *Gait Posture.* 2025;118:75-84
- Hösl M et al. Effects of backward-downhill treadmill training versus manual static plantarflexor stretching on muscle-joint pathology and function in children with spastic Cerebral Palsy. *Gait Posture.* 2018;65:121-8
- Dussa CU et al. Is shortening of Tibialis Anterior in addition to calf muscle lengthening required to improve the active dorsal extension of the ankle joint in patients with Cerebral Palsy? *Gait Posture.* 2021;83:210-6
- Böhm H et al. Functional electrical stimulation for foot drop in the upper motor neuron syndrome: does it affect 3D foot kinematics during the stance phase of walking? *Fuß & Sprunggelenk.* 2020;18:115-24
- Stevoska S et al. Tendon transfer in foot drop: a systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2021;143:773-84