

---

# Discrepanza della lunghezza delle gambe nei bambini e negli adolescenti – effetti funzionali e terapia chirurgica con chiodi intramidollari motorizzati

15 anni di esperienza presso l'Ospedale Universitario Pediatrico di Basilea (UKBB)

---

PD Dr. A. H. Krieg, medico senior, ortopedia pediatrica, centro per i tumori ossei e dei tessuti molli dell'Università di Basilea (KWUB), ospedale universitario per bambini di Basilea (UKBB), andreas.krieg@ukbb.ch

---

## Differenza di lunghezza delle gambe e analisi funzionali

Le discrepanze di lunghezza delle gambe (LDD) sono comuni: circa un terzo della popolazione ha una discrepanza di 0,5-1,5 cm, il 5% più di 1,5 cm, e a circa 1/1000 persone è stato prescritto un'elevazione della suola<sup>1,2</sup>. Nonostante la mancanza di dati biomeccanici a sostegno di quello che sembra essere un principio anatomico umano di base, è una comune dottrina ortopedica che il bacino debba essere orizzontale e la colonna lombare caricata simmetricamente in una posizione bipodalica e nella fase di appoggio monopodalico durante la marcia. La disuguaglianza di lunghezza delle gambe è un fattore di rischio correggibile per l'osteoartrite del ginocchio<sup>3</sup>. Pertanto, le differenze di lunghezza congenite o acquisite dovrebbero essere ripristinate, anche se la chiara e storica<sup>4</sup> regola dei 2 cm di differenza accettabile della lunghezza delle gambe è più un mistero che una scienza, dati i parametri anatomici individuali come la larghezza pelvica, la lunghezza assoluta delle gambe, la forza muscolare e la capacità propriocettiva.<sup>5</sup>

Per questo motivo il nostro team ha condotto uno studio per indagare la cinematica dell'andatura spinale in pazienti con LLD strutturale valutandone l'effetto immediato del rialzo ortopedico della scarpa. Il collettivo comprendeva 10 adolescenti con LLD strutturale (20-60 mm) e 14 adolescenti sani come gruppo di controllo. Tutti i partecipanti sono stati dotati di un sistema che combinava un insieme di marcatori ripartiti su tutto il corpo (Plug-in-Gang) con un insieme speciale di marcatori per il tronco. Ai partecipanti è stato poi chiesto di camminare sia a piedi nudi che con una scarpa ortopedica (questo solo i pazienti). I dati sono stati acquisiti utilizzando un sistema di analisi del movimento a 12 telecamere, e gli angoli della colonna vertebrale sono stati calcolati in MATLAB utilizzando una funzione circle-fit. I risultati includevano gli

angoli della colonna vertebrale e del bacino in tutti e tre i piani, gli angoli degli arti inferiori e i parametri spazio-temporali dell'andatura. I confronti tra gruppi sono stati fatti usando una mappatura parametrica statistica unidimensionale (SPM). Le differenze sono state considerate clinicamente rilevanti solo se erano maggiori di 5°.<sup>6</sup>

I pazienti con LLD presentavano angoli di flessione lombare statisticamente significativi e clinicamente rilevanti sul piano frontale verso il lato più lungo durante la fase iniziale di stanche e la fase terminale di swing, una maggiore inclinazione pelvica verso il lato più corto e maggiori angoli di adduzione dell'anca della gamba più lunga durante il ciclo del cammino rispetto al gruppo di controllo sano. Sul piano sagittale, i pazienti presentavano una maggiore estensione del ginocchio nell'arto inferiore più corto nella fase di mid-stance e una maggiore dorsiflessione dell'articolazione della caviglia dell'arto inferiore più lungo nella fase di stanche terminale. Inoltre, tutte le anomalie dell'andatura osservate nei pazienti con LLD potrebbero essere immediatamente influenzate dalla correzione dell'LLD utilizzando un'elevazione della suola. In risposta alla LLD, i pazienti hanno mostrato un'inclinazione pelvica laterale verso il lato più corto, che sembra essere compensata da una flessione laterale della colonna lombare e uno spostamento laterale del bacino verso il lato più lungo. Inoltre, l'uso del plantare ortopedico sembra essere un'opzione appropriata per migliorare immediatamente la cinematica dell'andatura nei pazienti con LLD da lieve a moderato.<sup>6</sup>

Tuttavia, a lungo termine, oltre ai fattori medici e di qualità di vita, la terapia conservativa non è sostenibile economicamente dal paziente e dalla compagnia di assicurazione. Abbiamo già analizzato questo nel nostro studio del 2011: per la compensazione di una disuguaglianza nella lunghezza delle gambe, sono stati calcolati costi totali di circa 100 000 euro per compensare un' differenza nella lunghezza delle gambe di più di 2 cm con l'aiuto di ortesi per tutta la vita. Per un trattamento chirurgico con un chiodo di distrazione motorizzato come il Fitbone®, sono stati calcolati costi totali di circa 38 000 euro.\* I costi dell'impianto puro ammontano a circa 11 000 euro per il chiodo Fitbone e 7 500 euro per un Taylor Spatial Frame standard.<sup>7</sup>

Abbiamo anche esaminato i rapporti di forza nei pazienti con differenze di lunghezza delle gambe e abbiamo trovato quanto segue: la coppia isocinetica massima mediana nei muscoli estensori era del 15% più alta nella gamba più lunga che nella gamba corta. Sospettiamo che un meccanismo di compensazione possa essere responsabile di questo effetto. La gamba più lunga compensa flettendo il ginocchio, il che aumenta il lavoro meccanico della gamba più lunga e quindi porta a una forza muscolare maggiore negli estensori. I tendini del ginocchio non hanno mostrato alcuna differenza significativa nella forza.<sup>8</sup>

\* Il calcolo del costo totale del trattamento fitbone si è basato sulle attuali tariffe di rimborso locali per un paziente pubblico, 1 segmento interessato, impianto ed espianto, ospedalizzazione per un totale di 3 settimane (impianto ed espianto), e fisioterapia due volte a settimana per 1 anno. Allo stesso modo, il costo totale della compensazione della lunghezza delle gambe tramite ortesi è stato calcolato da un tecnico ortopedico locale partendo dal presupposto che un paziente «non privato» con una differenza di lunghezza delle gambe di più di 2 cm richiede plantari e/o rialzo della suola due volte all'anno per 60 anni.

## Indicazione, storia e informazioni generali sulla terapia chirurgica

L'allungamento delle gambe viene effettuata da molto tempo e l'indicazione a questa pratica come anche le cause di dismetria sono molto antichi. Negli ultimi 150 anni le segnalazioni di discrepanza di lunghezza delle gambe e le deformità dovute a poliomielite, ferite di guerra, osteomielite e fratture mal allineate sono aumentate:

- Problemi congeniti come difetti femorali, ipoplasia femorale semplice, emimelia del perone e aplasia della tibia, emiper- ed emiiprotrofia
- Problemi acquisiti come l'arresto della crescita post-traumatico, condizioni post-infettive, necrosi avascolare, malattia di Perthes, malattia di Blount, displasia scheletrica, rachitismo, sindromi, malattia di Ollier, tumori o loro conseguenze secondarie ecc.<sup>1,9</sup>

Un'indicazione attenta e prudente per l'allungamento intramidollare delle gambe e la correzione della deformità è inevitabile. A nostro parere, l'allungamento chirurgico delle gambe è indicato per le differenze di lunghezza delle gambe di 2,5 cm o più e soprattutto per i pazienti in cui l'epifisiodesi (sclerosando la placca di crescita e quindi arrestando la crescita sul lato opposto) non sarebbe una buona opzione (arresto prematuro della crescita a causa di un'infezione o un tumore che compromette la placca di crescita, bassa statura, ecc).

Uno dei primi pionieri dell'allungamento delle gambe fu Alesandro Codivilla nel 1903, che eseguì osteotomie femorali in pazienti con coxa vara applicando una trazione attraverso un gesso e un filo transcalcaneare.<sup>10</sup> Circa 10 anni dopo, Louis Ombrédanne fu il primo a riconoscere l'importanza dell'allungamento graduale ed eseguì con successo un allungamento femorale di 4 cm di 5 mm al giorno con un fissatore esterno.<sup>11</sup> Il primo fissatore ad anello fu introdotto nei primi anni '50 da R. Wittmoser, ma ricevette poca attenzione all'epoca.<sup>12</sup> La svolta avvenne con le osservazioni di Gavril Ilizarov (1921–1992) che, come medico generico a Kurgan (Siberia sud-occidentale, Russia), trattò innumerevoli veterani di guerra per deformità post-traumatiche, pseudartrosi infette e difetti ossei.<sup>5</sup> Ha definito i principi più importanti dell'allungamento delle gambe e della correzione delle deformità come l'importanza di una corticotomia percutanea, un periodo di latenza di alcuni giorni, una fissazione semirigida e una distanza

di distrazione definita di 1 mm/giorno, che sono ancora validi oggi. Il passo fondamentale successivo fu l'introduzione di dispositivi di allungamento intramidollari negli anni '70. I primi sistemi, come il chiodo di allungamento a pressione idraulica di Goetz et al., erano sistemi aperti in cui i componenti esterni erano direttamente collegati al chiodo e quindi avevano un alto tasso di fallimento a causa di infezioni profonde.<sup>5,13</sup> Questo svantaggio è stato superato da chiodi di estensione completamente impiantabili; il primo fu descritto da Witt et al. nel 1978.<sup>14</sup> Bliskunov sviluppò un chiodo di allungamento azionato meccanicamente con un meccanismo a cricchetto, in cui l'allungamento veniva generato attraverso la compressione del cricchetto del chiodo sull'ala iliaca mediante il movimento dell'anca.<sup>5</sup>

Dal 1990 in poi, due chiodi di allungamento meccanici in particolare, cioè l'Albizzia® e l'ISKD® (Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor), così come il chiodo di allungamento motorizzato completamente impiantabile (Fitbone®) (fig. 1) sono stati costantemente utilizzati e descritti in letteratura.<sup>15-18</sup> Gli ultimi sviluppi di chiodi di estensione completamente impiantabili sono impianti guidati da magneti, cioè il chiodo Precice® e il chiodo Phenix®.<sup>19,20</sup>

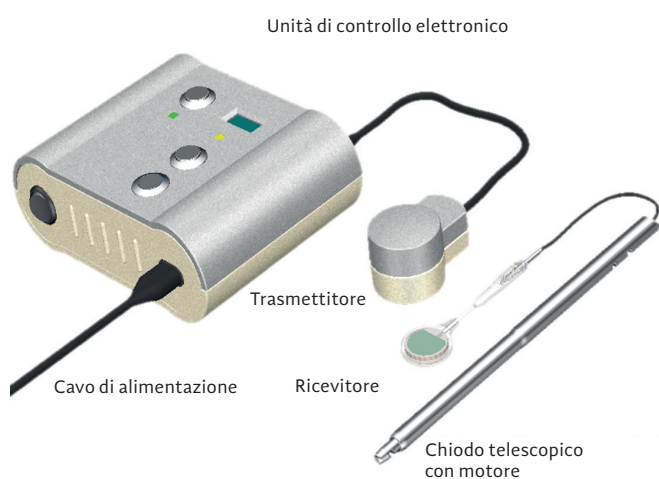


Fig. 1: Fitbone TAA (Telescope Active Actuator) con unità di controllo e trasmissione

L'uso di chiodi di estensione solidi nei bambini potrebbe essere limitato dalle placche di crescita aperte. Tuttavia, è stato dimostrato che la perforazione della placca di crescita femorale distale nella sua parte centrale con un impianto lucidato (ad esempio l'inchiodatura retrograda) non ha effetti negativi sul potenziale di crescita e non causa deformità iatrogene.<sup>21, 22</sup> Al contrario, l'inchiodatura anterograda della tibia o del femore non è raccomandata perché può portare all'arresto della crescita. Nella nostra clinica, l'uso di dispositivi di allungamento delle gambe intramidollari è evitato durante la crescita epifisaria, tranne in casi specifici e giustificati. Altrimenti, come per i pazienti con deformità angolari pronunciate che non soddisfano i requisiti per l'inchiodatura intramidollare, si raccomanda l'uso di fissatori esterni come il Taylor Spatial Fame (TSF).<sup>7</sup> Altre controindicazioni per i chiodi di allungamento intramidollari sono - a nostro parere - l'evidenza di osteomielite negli ultimi 2 anni o deformità congenite come la displasia dell'anca.

## Diagnostica di base

È della massima importanza che l'algoritmo diagnostico non si concentri solo sulla deformità ossea, ma crei un quadro complessivo che includa le condizioni fisiche e psicologiche del paziente, nonché la biologia locale. In sintesi, il grado di difficoltà e di rischio può essere valutato<sup>23</sup> e il paziente informato ed educato, tenendo conto di tutti i rischi potenziali:

- instabilità delle articolazioni che vanno da una lieve lassità a una sublussazione fissa o addirittura a una lussazione;
- deformità fisse di flessione e una ridotta gamma di movimento del ginocchio;
- cambiamenti osteoartritici;
- scarsa qualità delle ossa o dei tessuti molli;
- infezioni precedenti;
- problemi medici generali come il fumo, il diabete e i farmaci anti-rigenerazione, per citarne solo alcuni.

Una valutazione psicologica (intelligenza, conformità, ambiente sociale) determina se il paziente e la famiglia sono adatti al progetto previsto e il contatto con altri pazienti può essere utile per definire le aspettative.<sup>16, 18</sup>

Il processo centrale è una precisa analisi tridimensionale della deformità per definire l'obiettivo e scegliere il tipo di correzione. Solo la minoranza dei pazienti presenta un puro accorciamento delle gambe. La maggior parte ha anche deformità nel piano frontale o, in misura minore, anomalie sagittali e sul piano trasversale.<sup>24</sup> La deformità è classificata da tipo I (unidimensionale) a tipo IV (quadridimensionale), il che permette di confrontare i risultati dell'allungamento e della correzione della deformità assiale in funzione della complessità.<sup>24</sup>

La radiografia di base comprende radiografie anteroposteriori e laterali di entrambe le gambe (ortoradiogrammi) in posizione eretta con la rotula in avanti, con blocchi posti sotto il piede della gamba corta per livellare il bacino. La risonanza magnetica (MRI) viene ordinata nelle deformità trasversale per determinare l'antiversione del femore e la torsione della tibia.<sup>5</sup> I moderni sistemi di imaging, ad esempio lo sterEOS®, immaginano l'intero scheletro umano eretto simultaneamente in piani ortogonali con meno errori di irradiazione e proiezione e la possibilità di ricostruzione tridimensionale.<sup>25</sup> Inoltre, eseguiamo una Rx della mano sinistra per determinare l'età ossea definitiva rispetto all'età cronologica.

L'analisi della deformità manuale, digitalizzata o basata su software include un test di malallineamento, l'analisi del centro di rotazione (CORA), la determinazione dell'asse meccanico e la sua relazione con il centro del ginocchio, e le misurazioni standardizzate degli angoli di orientamento dell'articolazione (ad esempio l'angolo meccanico laterale distale del femore [mLDFA], l'angolo mediale prossimale della tibia [MPTA]). L'analisi della deformità e la scelta del sito di osteotomia determinano l'estensione della correzione angolare e in traslazione.

Un esame clinico approfondito si concentra sull'instabilità articolare e sul range di movimento, sulla condizione dei tessuti molli e include lo stato neurovascolare. La valutazione funzionale da parte di un fisioterapista esperto, la misurazione della forza (test isocinetici) e un laboratorio del cammino sono strumenti utili nel processo decisionale per i casi complicati.<sup>5</sup>

## Considerazioni generali per l'allungamento intramidollare delle gambe e la correzione della deformità

Grazie al minor tasso di complicanze e al maggior comfort del paziente, i dispositivi di allungamento intramidollari come il chiodo Fitbone®, che usiamo da 15 anni, sono diventati un'alternativa accettata ai fissatori esterni.<sup>7,26</sup>

Il sistema completamente impiantabile ha molti vantaggi rispetto ai fissatori esterni convenzionali. Il rischio di infezione è molto basso. Lo sforzo di pulizia quotidiana per il paziente / i genitori e il personale infermieristico viene eliminato con questo sistema. Lo strato di tessuti molli (pelle e muscoli) intorno all'osso da allungare è significativamente meno sollecitato grazie ai piccoli accessi chirurgici e alla posizione quasi completamente intramidollare dell'impianto. Come risultato il paziente ha meno dolore post-operatorio e raggiunge la mobilità normale più rapidamente. Senza transfissazione della pelle e dei muscoli, i chiodi di allungamento permettono il pieno movimento dell'articolazione nei primi giorni dopo l'intervento, mentre i fissatori esterni riducono il range di movimento ancora prima che il processo di allungamento inizi.<sup>7,27</sup> Questo ha quindi un effetto significativo sui tempi di riabilitazione più brevi nei pazienti con allungamento intramidollare.<sup>7</sup>

Inoltre, grazie ai progressi dei chiodi di allungamento intramidollari e all'introduzione di nuovi impianti, le indicazioni per il loro utilizzo sono cambiate nell'ultimo decennio con l'esecuzione di correzioni di deformità anche tridimensionali.<sup>28</sup> Da qualche anno utilizziamo anche il chiodo Precise®, con il quale si possono allungare segmenti ossei più corti e stretti, ma che è un poco più complicato per il paziente in termini di manipolazione/controllo. Entrambi i sistemi danno risultati altrettanto buoni nel raggiungimento dell'obiettivo di allungamento (vedi sotto).<sup>29</sup>

In generale, l'allungamento intramidollare degli arti in combinazione con la correzione della deformità è impegnativo in termini di pianificazione preoperatoria, tecnica chirurgica e gestione post-operatoria e dovrebbe quindi essere riservato a chirurghi esperti. Tuttavia, a differenza dei sistemi esterni, l'uso di chiodi intramidollari solidi dritti è soggetto a determinati requisiti anatomici:

- lunghezza ossea sufficiente (corrispondente alla lunghezza minima dell'impianto);
- dimensioni midollari adeguate (corrispondenti al diametro minimo dell'impianto);
- assenza di deformità angolari pronunciate.<sup>7</sup>
- un CORA (centro di rotazione e angolazione) situato lontano dall'osteotomia pianificata è un ulteriore ostacolo geometrico che può interferire con l'uso di sistemi intramidollari;
- le limitazioni associate all'impianto possono inoltre derivare da un livello di osteotomia obbligatorio (una certa distanza minima/massima dal punto di ingresso) di alcuni impianti per ottenere condizioni di bloccaggio stabili.<sup>26</sup>

Tutte le correzioni di deformità, tranne l'allungamento, devono essere eseguite nella stessa operazione e non possono essere regolate dopo l'operazione, a differenza dei fissatori esterni e soprattutto della TSF. Inoltre, a differenza dell'allungamento con fissazione esterna – che di solito segue l'asse meccanico – l'allungamento tramite un chiodo intramidollare dritto viene eseguito lungo l'asse del chiodo, che di solito si avvicina all'asse anatomico<sup>16</sup>. Pertanto, anche nei pazienti senza deformità angolari, i cambiamenti nell'asse meccanico sono inevitabili durante il processo di allungamento (ad esempio, un certo grado di valgizzazione nell'allungamento femorale retrogrado). Se questo spostamento dell'asse legato alla geometria non viene preso in considerazione prima dell'intervento, l'allungamento intramidollare può portare a una deformità iatrogena dell'asse<sup>22</sup>. Pertanto l'allungamento con/senza malallineamento angolare concomitante con impianti dritti, richiede sempre un'attenta pianificazione preoperatoria così come un'accurata tecnica d'impianto<sup>3,30</sup>. D'altra parte, le correzioni di deformità complesse con strumenti di allungamento intramidollari sono anche possibili dopo un'attenta pianificazione preoperatoria se si utilizzano frese rigide diritte (vedi fig. 2).

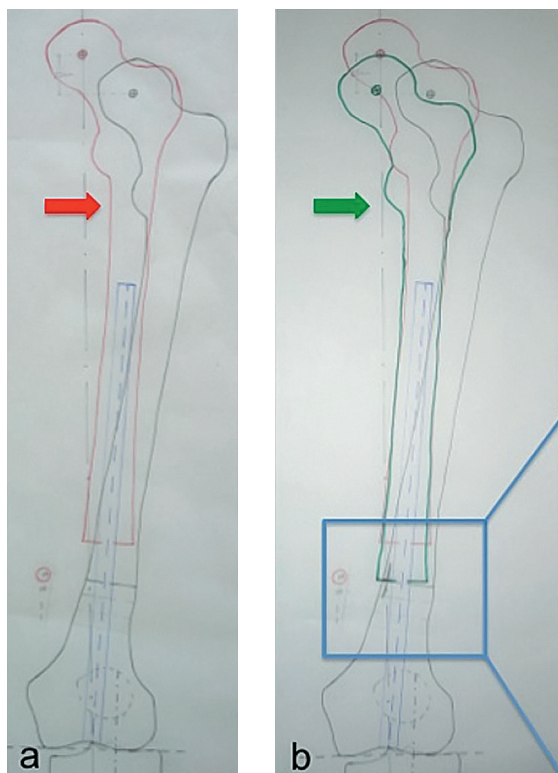
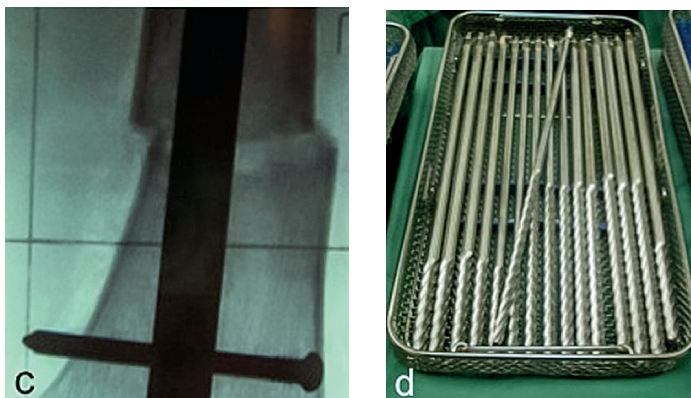


Fig. 2: da →26:

Il principio del metodo di pianificazione inversa<sup>22</sup>, è quello di pianificare il risultato finale desiderato (freccia rossa) dopo la correzione della deformità e l'allungamento (a). Il processo di allungamento viene poi invertito graficamente (freccia verde) e vengono determinate la posizione dell'impianto corrispondente e la traslazione segmentale (riquadro) (b). L'attuazione meticolosa della pianificazione preoperatoria (inserto di b) è della massima importanza (d). Pertanto, l'uso di alesatori rigidi dritti è essenziale per preparare il canale midollare e per posizionare l'impianto secondo la pianificazione preoperatoria (c).



## Dettagli tecnici del chiodo Fitbone®

Il Fitbone® (principalmente Wittenstein Intens, Igersheim, Germania, ora Orthofix, S.R.L. Milano, Italia) è un chiodo d'acciaio motorizzato<sup>15</sup> (fig. 1). Il suo motore elettromagnetico completamente impiantato ed incapsulato ermeticamente fornisce una coppia di rotazione (1800 N di forza di picco, il doppio della forza necessaria per distrarre i femori<sup>31, 32</sup>, che viene convertita in movimento assiale da un meccanismo di ingranaggi e mandrini. Il paziente attiva e controlla il sistema con un trasmettitore (corrente di induzione) attraverso un sistema di ricezione sottocutaneo (antenna ricevente). Sono disponibili due tipi di chiodi: il chiodo dritto Fitbone SAA ed il chiodo Fitbone TAA. Il chiodo dritto Fitbone SAA (Slide Active Actuator) per il posizionamento femorale anterogrado ha un foro scorrevole, un diametro esterno di 13 mm ed è disponibile in lunghezze comprese tra 260 e 520 mm. Sono possibili un'estensione fino a 85 mm e un trasporto dell'osso fino a 200 mm.

Il chiodo Fitbone TAA (Telescope Active Actuator) più comunemente usato, è una versione telescopica con un diametro di 11 mm nel fusto e 12 mm vicino all'articolazione (fig. 1). Esiste una versione diritta da 24,5 cm / 22,5 cm per l'inserimento retrogrado nel femore e una versione curva da 22,5 cm con un angolo di Herzog per il posizionamento anterogrado nella tibia. Inoltre, ci sono ora chiodi più stretti con un diametro dell'asta di 9 mm e versioni più corte fino a 18 cm. A seconda del tipo, si possono ottenere estensioni fino a 80 mm nel femore e 60 mm nella tibia. Sono possibili chiodi personalizzati, ad esempio per l'allungamento del moncone dopo resezioni tumorali. Il programma di licenze per i centri di eccellenza della prima società limitava il suo uso a una installazione per paesi, ora è stato abbandonato con l'acquisizione da parte della nuova società. Di conseguenza, questo sistema può ora essere utilizzato da qualsiasi chirurgo ortopedico esperto nella distrazione del callo dopo un'istruzione. Alta affidabilità e tassi di successo degli impianti sono stati riportati in serie cliniche dai centri di eccellenza.<sup>7, 33-36</sup>

## Risultati delle proprie operazioni e confronto con la letteratura

Abbiamo pubblicato i nostri primi 32 pazienti consecutivi tra settembre 2006 e dicembre 2008 con un'età mediana di 17 anni (IQR: 15-19) che sono stati trattati per la prima volta con un dispositivo di allungamento intramidollare motorizzato completamente impiantabile (Fitbone) in Svizzera. La discrepanza mediana della lunghezza delle gambe era di 35 mm (IQR: 30-44) al femore (n=21) e di 28 mm (IQR: 25-30) alla tibia (n=11) (vedi relazione sul caso fig. 3, 4). L'allungamento delle gambe ha avuto successo in 30 dei 32 casi senza discrepanza residua rilevante ( $\pm 5$  mm). Non sono state osservate complicazioni intraoperatorie. L'indice di consolidamento era significativamente diverso ( $p=0,04$ ) tra l'allungamento femorale (media 35 giorni/cm) e l'allungamento tibiale (media 48 giorni/cm), ma non dipendeva dall'età (più vecchio/più giovane di 16 anni) o dalla precedente chirurgia sull'arto interessato<sup>7</sup>.

Un tasso di complicanze postoperatorie del 12,5% nella nostra serie (4 su 32 pazienti) è in linea con i risultati di Baumgart et al.<sup>34</sup> che hanno riportato un tasso di complicanze del 13% in un numero maggiore di pazienti (n=150) trattati con chiodi Fitbone TAA e SAA. Questi bassi tassi di complicazione possono essere dovuti al meccanismo di allungamento azionato elettronicamente e alla sua controllabilità affidabile con tassi di distrazione costanti. Uno studio di confronto diretto nel 2015 tra il chiodo Fitbone e il fissatore esterno ha mostrato tassi di complicazione significativamente inferiori per il chiodo Fitbone del 26% rispetto al 60% per il fissatore esterno.<sup>35</sup> I tassi di complicazione per i fissatori esterni vanno dal 24% al 117%<sup>23, 37</sup> e dall'11% al 47%<sup>17, 18, 38</sup> per i dispositivi intramidollari azionati meccanicamente, a seconda della lunghezza della distrazione e dell'esperienza del chirurgo.

Dati comparativi più recenti di Horn e colleghi nel 2019 hanno mostrato risultati equivalenti di entrambi gli attuali chiodi motorizzati (Precise® e Fitbone®) con tassi di complicanze uguali del 16% ciascuno con la stessa distanza media di allungamento di 40 mm e una popolazione di pazienti simile<sup>29</sup>.

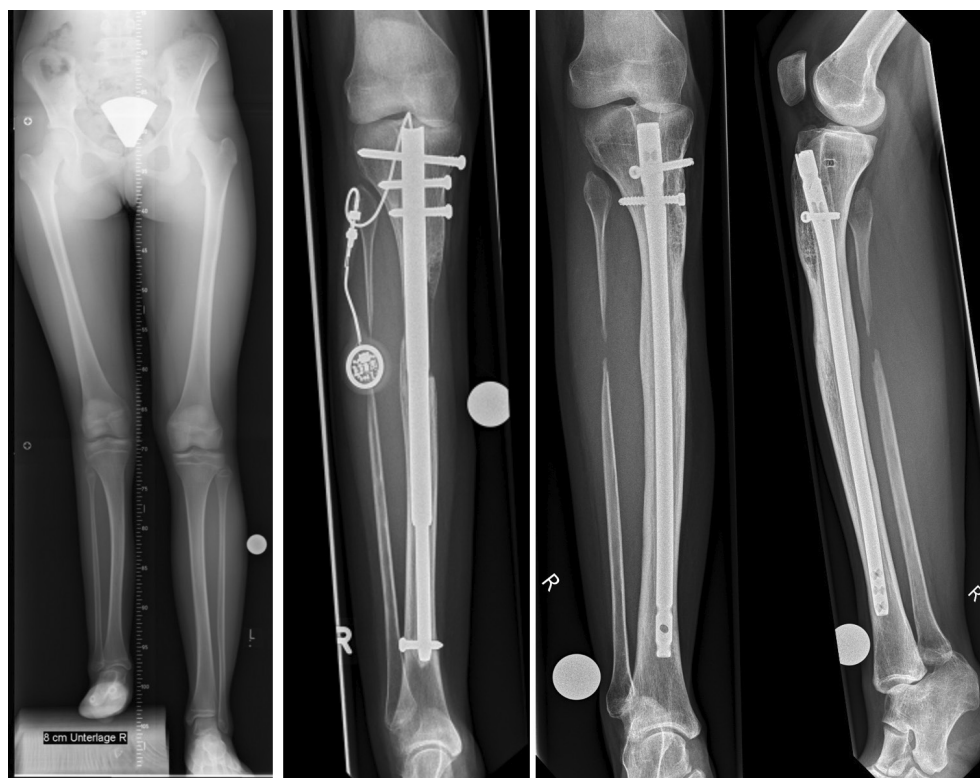


Fig. 3 (da sinistra a destra): radiografia della gamba intera di una ragazza di 16 anni con difetto longitudinale del perone e mancanza del raggio III-V con astragalo sferico e differenza di lunghezza consecutiva della gamba di -6,5 cm - impianto e distrazione di 5,5 cm con una TAA Fitbone - guarigione e fissaggio dell'arto inferiore con chiodo intramidollare da trauma - la paziente non ha quindi alcuna retrazione nell'area di carico

Oltre all'allungamento dell'osso, la questione di cosa succede ai muscoli che si allungano è ovviamente importante. Funzionalmente, abbiamo trovato quanto segue nel nostro studio di forza postoperatorio in relazione all'allungamento e all'effetto sui muscoli: è rimasta una differenza significativa per la coppia di forza isocinetica massima degli estensori (22%) postoperatorio (almeno 2 anni) tra la gamba allungata e quella normale (preoperatoria 15%), che può essere dedotta dalla reazione muscolare alla procedura di distrazione stessa, sotto forma di maggiore rigidità, di uno spostamento immediato minore e di proprietà di rilassamento della forza incoerenti. Questo significa che la fisioterapia dopo l'allungamento dell'arto dovrebbe concentrarsi principalmente sui muscoli estensori per compensare la perdita di forza<sup>8</sup>.

## Conclusioni e prospettive future

I chiodi di allungamento intramidollari sono un'alternativa moderna e più confortevole per i pazienti ai fissatori esterni, ma possono essere limitati dalle condizioni anatomiche. Tuttavia, grazie ai progressi nei metodi di pianificazione preoperatoria e nelle tecniche chirurgiche, le deformità complesse possono essere trattate con questi impianti.<sup>26</sup> L'uso di alesatori rigidi, di manicotti per proteggere i tessuti molli e un'attenta attuazione della pianificazione preoperatoria sono della massima importanza. Una seconda osteotomia e la fissazione con una placca di bloccaggio possono anche aiutare ad evitare l'uso di fissatori esterni nelle deformità multilivello. Tuttavia, nei pazienti con deformità angolari pronunciate o placche di crescita aperte, l'uso di fissatori esterni come la TSF è

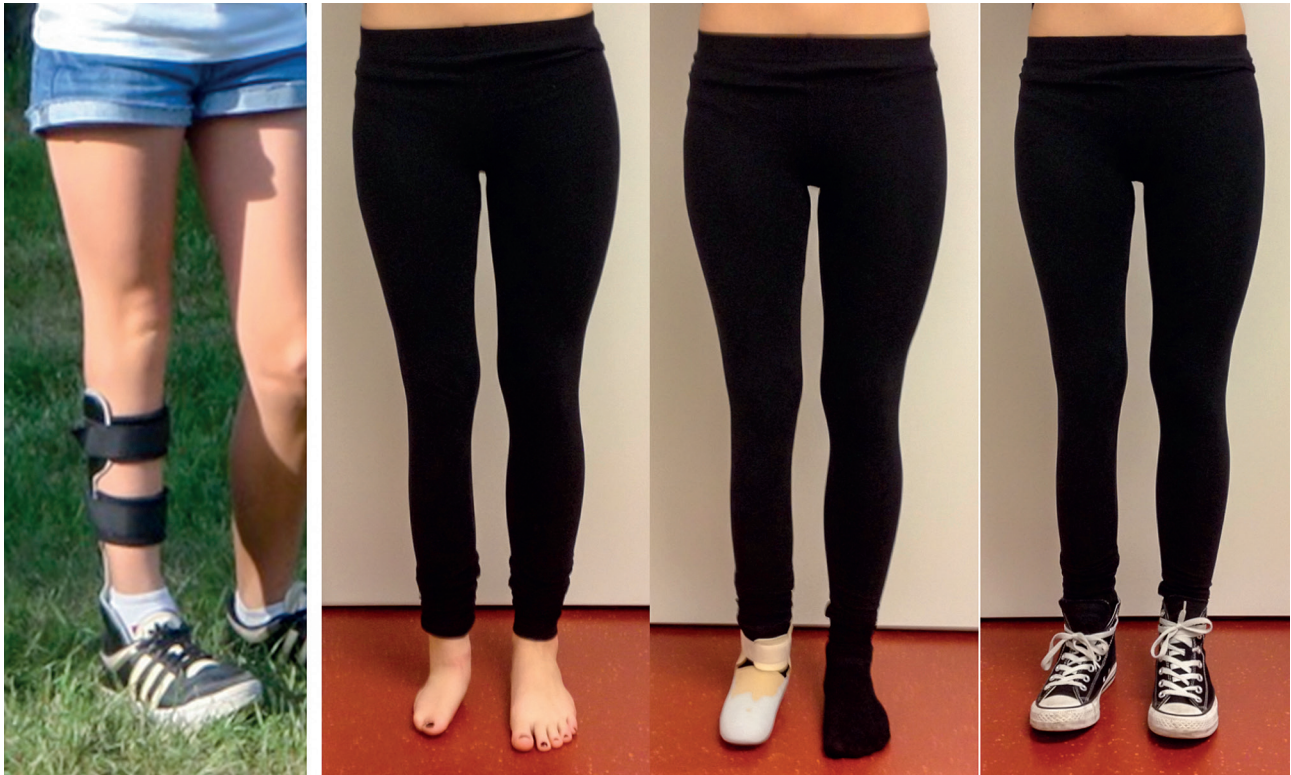


Fig. 4: adattamento clinico prima dell'allungamento con la parte inferiore della gamba - OSG - ortesi del piede e solette / elevazione della suola sulla scarpa - dopo l'allungamento di 5,5 cm (deliberatamente per lasciare spazio alla protesi del piede!) solo adattamento della protesi del piede e possibilità di indossare scarpe standard

talvolta utile o addirittura inevitabile. Nei pazienti che soddisfano i requisiti anatomici, invece, i chiodi di allungamento intramidollari sono la procedura più moderna per l'allungamento degli arti in combinazione con la correzione della deformità, grazie al basso tasso di complicanze e all'elevato comfort del paziente.

Il prossimo passo è già stato fatto nello sviluppo e presto saremo in grado di trattare i bambini con differenze significative di lunghezza delle gambe e articolazioni aperte con una piastra motorizzata (fissatore interno) presso l'UKBB, in modo che sarà possibile abbandonare il fissatore esterno in un futuro più lontano, soprattutto per quanto riguarda i bambini.

## Bibliografia

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



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