

ORIGINAL

Alargamiento óseo con clavos magnéticos. Experiencia en pacientes menores de 18 años



J. de Pablos^{a,*}, P. González Herranz^b, L. Arbeloa-Gutiérrez^c y E. Stéfano^d

^a Unidad de Reconstrucción Ósea, Hospital San Juan de Dios, Pamplona, España

^b Ortopedia Infantil, Hospital Teresa Herrera, A Coruña, España

^c Servicio de Traumatología, Hospital García Orcoyen, Estella, Navarra, España

^d Ortopedia Infantil, Hospital de Niños Gutiérrez, Buenos Aires, Argentina

Recibido el 14 de febrero de 2021; aceptado el 18 de junio de 2021

Disponible en Internet el 6 de agosto de 2021

PALABRAS CLAVE

Distracción ósea;
Discrepancia
de longitud;
Deformidad angular;
Clavo endomedular
magnético

Resumen

Antecedentes y objetivo: El alargamiento óseo con clavos endomedulares magnéticos (CEM) se plantea como alternativa ventajosa a otros alargamientos, al eliminar los inconvenientes de la fijación externa.

El objetivo de este trabajo es analizar los resultados y valorar las complicaciones en una serie de pacientes menores de 18 años.

Material y métodos: Entre 2014 y 2019 se han realizado 31 alargamientos con CEM tipo Precice2® (23 fémures, 8 tibias), en 28 pacientes menores de 18 años (15 varones y 13 mujeres). Este estudio retrospectivo observacional incluye pacientes con seguimiento de más de 18 meses. La edad media ha sido de 14,4 años (8-18).

Los aspectos más relevantes analizados han sido: acortamiento/deformidad previos, alargamiento/corrección conseguidos y tiempo hasta carga completa. Además, se han revisado las complicaciones y reintervenciones.

Resultados: El alargamiento conseguido ha sido de 5,5 cm de media (3-8). En 28 alargamientos (90,3%) se ha conseguido o superado el objetivo planificado.

El índice de curación (IC) medio fue de 1,1 meses/cm.

Más de la mitad de los alargamientos (55%) han presentado alguna complicación. Aunque estas solo han dejado secuelas permanentes en 2 pacientes (7,1%), 9 de ellos han precisado reintervención (13 operaciones). No ha habido infecciones.

Conclusiones: La elongación ósea con CEM en pacientes menores de 18 años ha conseguido su objetivo en más de un 90% de casos de manera eficaz, precisa y segura. En esta serie, los CEM han eliminado la necesidad de fijadores externos y han tutorizado eficazmente el segmento operado. La alta incidencia de complicaciones sigue siendo preocupante.

© 2021 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: depablosjulio@gmail.com (J. de Pablos).

KEYWORDS

Bone distraction;
Limb length
discrepancy;
Angular deformity;
Magnetic
endomedullary nail

Bone lengthening with magnetic nails. Experience in patients younger than 18**Abstract**

Background and goal: Bone elongation with magnetic endomedullary nails (MEN) has been proposed as an advantageous alternative to other techniques, by eliminating the drawbacks of external fixation.

The aim of this work is to analyze the results and assess the complications in a series of patients under the age of 18.

Material and methods: From 2014 to 2019, 31 elongations (23 femurs, 8 tibias) using MEN (Precice2™) have been performed in 28 patients younger than 18 (15 males and 13 females). In this observational retrospective study, only patients with follow-up longer than 18 months have been included. The average age has been 14.4 years (8–18).

The most relevant aspects analyzed have been: previous shortening/deformity, elongation/correction achieved and time to full weight bearing. Complications and re-interventions have also been assessed.

Results: The elongation achieved has been 5.5 cm on average (3–8). In 28 elongations (90.3%) the planned goal of lengthening was achieved.

The mean healing index was 1.1 months/cm.

More than half of elongations (55%) presented complications. Although they produced permanent sequelae in only two patients (7.1%), a total of 9 patients required re-intervention (13 operations). No infections were detected.

Conclusions: Bone lengthening with MEN in individuals younger than 18 has achieved its goal in more than 90% of patients in an effective, accurate and safe manner. The use of MEN in this series has eliminated the need for external fixators and has successfully tutorized the operated segment. The high number of complications detected in this study remains a concern.

© 2021 SECOT. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

La distracción ósea progresiva es un recurso muy utilizado en la cirugía reconstructiva del aparato locomotor, principalmente en el tratamiento de acortamientos, deformidades y defectos de los huesos largos. Desde los primeros alargamientos óseos realizados a principios del siglo XX¹, estas técnicas quirúrgicas han ido evolucionando². Sin embargo, sus tasas de complicaciones siguen siendo preocupantes³, principalmente las relacionadas con el uso de fijación externa prolongada^{4–6}. Con el objetivo de anular la fijación externa y sus complicaciones en estos tratamientos, en la década de los 90 surgieron los primeros clavos distractores endomedulares totalmente implantables³. Estos dispositivos fueron evolucionando hasta la aparición de los, notablemente más fiables, clavos motorizados con control externo eléctrico⁷ o magnético^{8,9}, que son los actualmente más difundidos. A pesar de haberse conseguido una drástica reducción de los problemas inherentes a la fijación externa, los alargamientos con estos dispositivos no están exentos de complicaciones y han aparecido nuevos problemas con su uso³.

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio de nuestros primeros 31 alargamientos con un clavo endomedular magnético (CEM) (Precice2®) en pacientes menores de 18 años y, a la luz de los resultados obtenidos en nuestra serie, contrastar las ventajas que se atribuyen a estos dispositivos y analizar las complicaciones que se han producido.

Material y métodos

Se ha realizado un estudio observacional retrospectivo en una serie de 31 alargamientos de extremidades inferiores con clavos magnéticos, en 28 pacientes menores de 18 años operados entre 2014 y 2019. El seguimiento mínimo ha sido de 18 meses desde el final del tratamiento (carga completa sin ayuda). La edad media de los pacientes incluidos fue de 14,4 años (8–18).

Los 31 segmentos operados (23 fémures y 8 tibias) correspondían a 15 varones y 13 mujeres. La etiología del acortamiento fue congénita en 14 casos (52%) y displásica en 4 pacientes (14,3%).

El tipo de clavo empleado fue: 21 femoral anterógrado trocantérico, 2 femoral retrógrado y 6 tibial anterógrado. En 2 tibias con tobillos perdidos (uno artrodesado previamente y otro con grave deformidad y degeneración) se optó por utilizar clavos rectos implantados por un abordaje transcalcáneo. En ningún caso se implantaron clavos a través de fisas abiertas.

La intervención realizada en todos los pacientes ha consistido en alargamiento femoral o tibial con o sin corrección angular aguda simultánea, mediante un CEM de titanio tipo Precice2® (Nuvasive, San Diego, EE.UU.).

Cada uno de los casos ha tenido una planificación preoperatoria individualizada. Para llevar a cabo el alargamiento con/sin corrección angular mediante CEM se han realizado mediciones y análisis preoperatorios de la discrepancia de longitud y deformidad mediante telerradiografías

anteroposteriores y laterales de la extremidad inferior en bipedestación. La osteotomía de elongación se realizó de forma mínimamente invasiva a nivel metafiso-diafisario, salvo en caso de deformidad asociada, en que el ápex de la deformidad determinara otra ubicación. También se tuvieron en cuenta las dimensiones del implante: calibre, según el diámetro del canal medular y longitud, dependiendo fundamentalmente del nivel de osteotomía seleccionado. La técnica quirúrgica fue mínimamente invasiva y con control de radioscopia, tanto para la introducción del CEM como para la osteotomía¹⁰ y el encerrojado. En ningún caso se atravesaron fisis activas al introducir el CEM, ni en fémur ni en tibia. En 8 casos se emplearon tornillos tipo Poller cuando existía riesgo de perder corrección al introducir el clavo o de que se deformara el segmento, bien por dudosa calidad del hueso o por la tensión prevista con la distracción.

En las elongaciones tibiales se asoció siempre una osteotomía de peroné en tercio distal seguida de solidarización tibio-peronea distal mediante un tornillo tetracortical. Si la elongación tibial prevista excedía de 4 cm, se realizaba también tenotomía aquilea.

A los 5-7 días del postoperatorio, siguiendo los principios de la *callotaxis*¹¹, se inició la distracción a una velocidad de 1 y 0,75 mm/día en fémur y tibia, respectivamente. La fisioterapia comenzó siempre entre el 7.º y 15.º día postoperatorio con un programa general tendente a mantener y ganar en su caso el balance articular y la potencia muscular de la extremidad afecta.

Solo 3 pacientes fueron elongados por estatura (baja talla patológica), mientras que el resto de pacientes presentaban discrepancia de longitud: 24 por acortamiento de 4,5 cm de media (2-10 cm) y uno solo por alargamiento de 3 cm. El objetivo de alargamiento ha sido de 5,5 cm de media (3-8 cm) en las discrepancias de longitud y de 7,2 cm en los casos de baja talla (6,5-8 cm).

El seguimiento, clínico y radiológico, se realizó periódicamente cada 15 días durante el periodo de distracción y posteriormente cada mes hasta la consolidación, momento en que se permitía el apoyo completo de la extremidad.

En 2 casos en esta serie el CEM quedó implantado y no se procedió al alargamiento inmediato («clavo dormido») por diferentes razones. En estos casos, antes de iniciar la distracción, fue necesario realizar una osteotomía circunferencial con una sierra de Gigli.

Los aspectos y datos analizados más relevantes en nuestra serie han sido: acortamiento/deformidad previos, alargamiento/corrección conseguidos, tiempo hasta la carga completa (tabla 1) y el índice de curación (IC), cociente entre meses hasta la consolidación y centímetros conseguidos (tabla 2).

Un año después del inicio de la carga completa, los pacientes/familias completaron un sencillo cuestionario de satisfacción para evaluar subjetivamente el resultado obtenido (muy satisfactorio/satisfactorio/poco o nada satisfactorio) y la tolerancia al implante (buena/regular/mala); también se les preguntó si volverían a someterse a la cirugía si fuera necesario.

Resultados

En la serie estudiada, el CEM ha funcionado correctamente y con precisión en todos los casos, coincidiendo de manera constante la lectura en la unidad de control remoto (UCR) y el alargamiento conseguido. El alargamiento medio fue de 5,5 cm (3-8 cm): 4,56 cm en los pacientes con discrepancia de longitud y 6,8 cm en los pacientes alargados por estatura. En 22 alargamientos el objetivo fue similar a la discrepancia de longitud inicial y solo en 9 casos el objetivo fue diferente: en 3 casos (congénitos) era menor con el fin de evitar riesgos por exceso de tensión y/o favorecer la consolidación o por la propia capacidad del CEM, mientras que en 6 casos se planificó un sobrealargamiento para minimizar la discrepancia de longitud en la madurez. En 28 alargamientos (90,3%) se consiguió el objetivo planificado, pero en 3 de ellos hubo que alargar más de lo previsto para compensar la discrepancia de longitud y en otro caso se realizó, por error, un sobrealargamiento de 1 cm, que no tuvo repercusión clínica. En 2 pacientes (3 segmentos) no se llegó al objetivo. Uno de ellos por una fractura femoral, que causó pérdida de alargamiento de 1 cm, y en otro caso por intolerancia psicológica.

Catorce de los segmentos (45%), en 12 pacientes, presentaban deformidades asociadas, de las que 12 eran angulares, una rotacional y una mixta. Ninguna de las deformidades angulares excedía de 20° del valor normal. En 8 pacientes la deformidad angular y rotacional se corrigió de forma aguda (intraoperatoriamente): mediante la propia osteotomía de elongación en 6 casos (fig. 1) y mediante otra osteotomía en los 2 restantes. En 4 casos de genu valgo se realizó la corrección progresiva mediante técnicas de crecimiento guiado. Las correcciones fueron completas en todos los casos y no se han detectado deformidades residuales y/o recidivas en el seguimiento.

En todos los casos se consiguió consolidación espontánea del segmento elongado. El IC de esta serie fue de 1,1 meses/cm (0,83-1,8) y solo en 3 casos de acortamiento congénito excedió de 1,7. Es importante tener en cuenta que, con el uso de CEM, el IC debe ser solo aproximado ya que, al contrario de los alargamientos clásicos en que la fecha final es la de retirada del fijador externo, aquí contamos hasta la carga completa, que no tiene fecha exacta. La retirada del CEM se ha realizado de media a los 7,5 meses tras la consolidación (inicio de carga completa), siguiendo criterios radiológicos (al menos 3 corticales de similar grosor al de la cortical original).

Se han identificado eventos adversos en 17 alargamientos (55%) en 16 pacientes (57%) pero solo en 3 fueron considerados graves (mayores), de los cuales 2 (7,1%) quedaron con secuelas permanentes (tabla 3). Los 12 pacientes restantes (14 segmentos) no presentaron complicaciones reseñables.

Ha habido 7 complicaciones quirúrgicas, 2 mayores y 5 menores (sin consecuencias clínicas). Las primeras fueron una fractura femoral por «efecto punta» en el extremo proximal del CEM y un síndrome compartimental en la pierna operada. La fractura se produjo a nivel del extremo del clavo en un fémur portador de prótesis de cadera y evolucionó bien tras la fijación interna, aunque con pérdida

Tabla 1 Demografía

ID	Edad	Sexo	Etiología	Segmento	Acortamiento (cm)	Objetivo (cm)	Deformidad angular asociada
1	12	F	Artritis séptica neonatal	Fémur D	4,5	5,5	Sí
2	13	F	latrógena: cirugía vascular	Fémur D	3,5	3,5	Sí
3	13	F	Congénita: fémur corto	Fémur I	4,0	4,0	Sí
4	13	F	Talla baja: displasia ósea metafisaria	Tibia D	3,0	3,0	No
5	15	M	Congénita: hipoplasia	Tibia D	5,5	5,5	No
6	15	M	Secuelas Perthes	Fémur I	3,0	3,0	No
7	15	M	Congénita: idiopática	Tibia D	3,0	3,0	No
8	15	M	Congénita: idiopática	Fémur D	3,5	3,5	Sí
9	14	M	Congénita: fémur corto	Fémur I	4,0	4,5	Sí
10	16	F	Secuelas de DDC	Fémur I	5,0	5,0	No
11	11	M	Congénita: fémur corto	Fémur I	10,0	8,0	Sí
12	14	F	Postrumático	Fémur D	4,0	5,0	No
13	14	M	Congénita: fémur corto	Fémur D	6,0	7,0	Sí
14	14	F	Talla baja: displasia ósea metafisaria	Tibia D	2,0	8,0	Sí
15	14	F	Talla baja: displasia ósea metafisaria	Tibia I	0,0	6,0	Sí
16	14	F	Congénita: idiopática	Fémur I	3,0	3,0	No
17	14	M	Congénita: fémur corto	Fémur I	5,0	6,5	No
18	18	F	Talla baja: Sdme VACTER	Fémur D	0,0	6,5	No
19	18	F	Talla baja: Sdme VACTER	Fémur I	0,0	6,5	No
20	15	F	Secuelas de sarcoma FD	Fémur D	5,0	5,0	Sí
21	14	F	Vascular	Fémur D	3,0	3,0	No
22	16	M	Pie zambo	Fémur D	4,0	4,0	No
23	16	M	Congénita: hipoplasia	Fémur I	4,5	4,5	No
24	8	M	Agenesia peronea	Tibia D	7,0	4,0	Sí
25	17	M	Talla baja	Fémur D	0,0	8,0	No
26	17	M	Talla baja	Fémur I	0,0	8,0	No
27	15	M	Drepanocitosis	Tibia D	3,5	3,5	Sí
28	16	M	Hipoplasia congénita	Fémur I	4,0	4,0	No
29	15	F	Hipoplasia congénita	Fémur I	3,5	3,5	No
30	11	M	Agenesia peronea	Tibia D	7,5	5,0	Sí
31	9	F	Epifisiólisis FD D	Fémur D	6,0	6,0	Sí

En esta tabla se presentan los datos analizados más relevantes en nuestra serie de casos.

D: derecho; DDC: displasia del desarrollo de cadera; F: femenino; FD: fémur distal; I: izquierdo; M: masculino; Sdme: síndrome.

de 1 cm de elongación. El síndrome compartimental no se logró revertir ampliando la fasciotomía inicial y posteriormente se detectó un pseudoaneurisma poplíteo, que obligó a realizar un *by-pass* de urgencia con evolución satisfactoria. Debido a estas complicaciones, se mantuvo el clavo «dormido» y se completó la elongación sin incidencias 3 años después. Actualmente, este paciente presenta una parálisis residual del compartimento antero-externo de la pierna susceptible de futura cirugía paliativa. Los 5 eventos menores no tuvieron consecuencias clínicas, destacando 3 casos de leve deformidad en varo del fémur proximal, producida durante la inserción del clavo, que provocó una leve pérdida de longitud femoral que precisó una sobreelongación.

En 5 casos hubo problemas asociados a los dispositivos. Una rotura de un clavo femoral anterógrado a través de los orificios de bloqueo proximal, probablemente por carga prematura. En 2 casos se apreció pandeo (*bending*) del implante una vez finalizada la distracción, sin consecuencias. El generador (UCR) dejó de funcionar en un caso, lo que se solucionó sin repercusión cambiando de generador. También se observó una movilización

de un tornillo de encerrojado, que necesitó ser recambiado.

Se produjeron 3 problemas de consolidación de la zona de distracción: un caso por consolidación irregular de la tibia (insuficiencia anterior) que precisó refuerzo con injerto autólogo, y en 2 elongaciones tibiales, que desarrollaron no-unión de peroné.

Hubo 5 complicaciones asociadas a la distracción en 5 pacientes. Un caso grave por subluxación de cadera, que requirió reducción y osteotomía pélvica, dejando como secuela una limitación moderada de la movilidad de la cadera y discreta insuficiencia glútea. Las otras 4 complicaciones fueron menores, incluyendo un caso de pie equino en una elongación tibial, que evolucionó satisfactoriamente tras alargar el tendón de Aquiles, y 3 retracciones de la fascia lata, que se solucionaron con sección quirúrgica (2 casos) o fisioterapia (1 caso), sin secuelas.

No se detectaron problemas infecciosos ni casos de corrosión del material.

De los 16 pacientes con complicaciones, 9 (32%) necesitaron 13 reintervenciones pero solo 2 (7,1%) presentaron

Tabla 2 Resultados de la serie

ID	Alargamiento	Unión/carga completa	IC (m/cm)	Corrección simultánea	Tornillo Poller
1	5,5	5.º mes	0,9	OT VR + DR FD	No
2	4,5	5.º mes	1,1		No
3	3,5	4.º mes	1,1	CG FD	No
4	3,0	4.º mes	1,3		No
5	5,5	6.º mes	1,1		No
6	3,0	3.º mes	1		No
7	3,0	3.º mes	1		No
8	3,5	3.º mes	0,9	OT DR FD	No
9	4,5	4.º mes	0,9	CG FD	No
10	4,0	5.º mes	1,3		No
11	8,0	7.º mes	0,9	CG FD	Sí
12	5,0	5.º mes	1		Sí
13	7,0	6.º mes	0,9	CG FD	No
14	8,0	8.º mes	1	OT VL TP	Sí
15	6,0	8.º mes	1,3	OT VL TP	Sí
16	3,0	5.º mes	1,7		Sí
17	6,5	6.º mes	0,9		Sí
18	5,5	6.º mes	1,1		Sí
19	5,5	6.º mes	1,1		Sí
20	5,0	6.º mes	1,2	OT VR	No
21	3,0	3.º mes	1		No
22	4,5	6.º mes	1,3		No
23	4,5	5.º mes	1,1		No
24	4,0	7.º mes (CEM dormido)	1,8	OT VR tibia	No
25	8,0	9.º mes	1,1		No
26	8,0	9.º mes	1,1		No
27	3,5	5.º mes (CEM dormido)	1,4	OT tibia	No
28	4,5	4.º mes	0,9		No
29	4,5	4.º mes	0,9		No
30	5,0	9.º mes	1,8	Doble OT tibia	No
31	6,0	5.º mes	0,8	OT FD	No

En esta tabla se muestra el alargamiento conseguido (cm), el tiempo hasta la carga completa, el índice de consolidación (IC) y las correcciones angulares simultáneas y el uso de tornillo de Poller durante la intervención.

CG: crecimiento guiado; DR: desrotatoria; FD: fémur distal; OT: osteotomía; TP: tibia proximal; VL: valgo; VR: varo.

las secuelas permanentes mencionadas. Los restantes 26 pacientes (92,8%) superaron el proceso sin consecuencias reseñables.

Subjetivamente los pacientes han manifestado en la encuesta realizada una buena tolerancia al tratamiento, y todos los casos estaban satisfechos o muy satisfechos con el resultado y volverían a intervenir, excepto 2 casos poco/nada satisfechos, uno de los cuales, a la vista de su evolución, no se operaría de nuevo.

Discusión

La tecnología de implantes expandibles magnéticos ha supuesto un paso decisivo en la evolución de la distracción ósea en general y del tratamiento de las discrepancias de longitud de las extremidades en particular^{12,13}. Por este motivo nosotros la hemos adoptado desde el año 2014.

Las ventajas aducidas de la distracción ósea con CEM respecto a las técnicas más convencionales¹² son, por un lado, la eliminación de la fijación externa y, por otro, la tutorización por el implante del segmento elongado/corregido. En

nuestra serie, estas ventajas se han confirmado sin excepción ya que en ningún caso se ha necesitado fijación externa para conseguir una distracción efectiva. Esto ha supuesto un notable beneficio para nuestros pacientes, al simplificar la técnica quirúrgica, facilitar una recuperación articular precoz y un confort aceptable, evitando, además, infecciones durante el tratamiento. Tampoco se han observado deformidades ni fracturas del segmento elongado, típicas de los alargamientos clásicos solo con fijadores externos¹⁴. También, el hecho de que los alargamientos no hayan sido extremos (máximo 8 cm) ha sido, probablemente, un factor favorable añadido¹⁵. Apoyando estos hallazgos, nuestros pacientes han mostrado también una satisfacción casi unánime con el resultado obtenido, similar a la de trabajos comparativos recientes¹³.

Otra de las ventajas importantes del uso de los CEM es que pueden quedar implantados largo tiempo y activarlos a voluntad, lo que permite aplazar el alargamiento («clavos dormidos») o realizar alargamientos fraccionados^{12,13}. En nuestra serie, 2 pacientes han portado «clavos dormidos» que se han activado sin problema, mucho tiempo después de implantados (fig. 2).

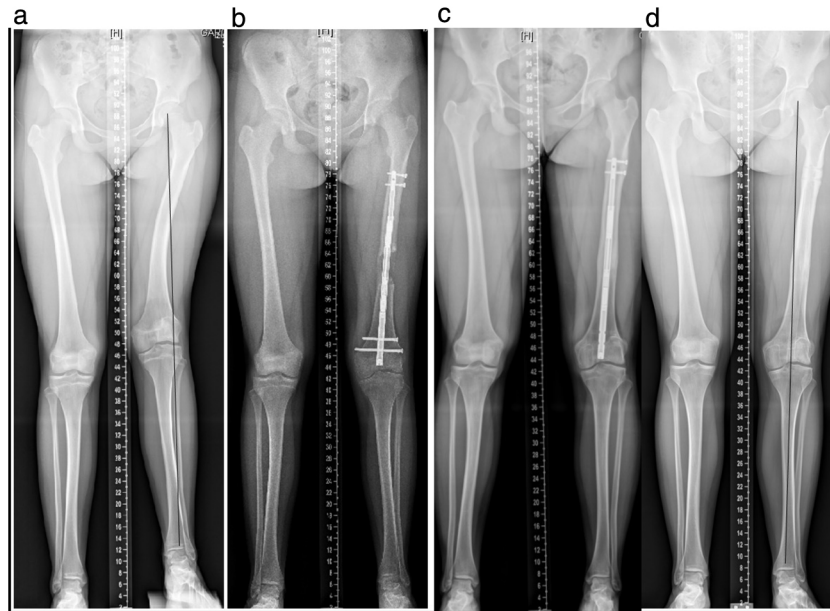


Figura 1 Acortamiento de 5,5 cm, valgo y deformidad rotacional de fémur izquierdo tras artritis séptica neonatal de rodilla. Mujer de 12 años. a) Telerradiografías preoperatorias. b) Alargamiento y corrección angular/rotacional mediante clavo retrógrado Precice2®. c) Consolidación y compensación de la discrepancia a los 6 meses del postoperatorio. Los tornillos de bloqueo de rodilla requirieron una retirada precoz por movilización de uno de ellos. d) Control radiológico 12 meses tras la retirada del clavo.

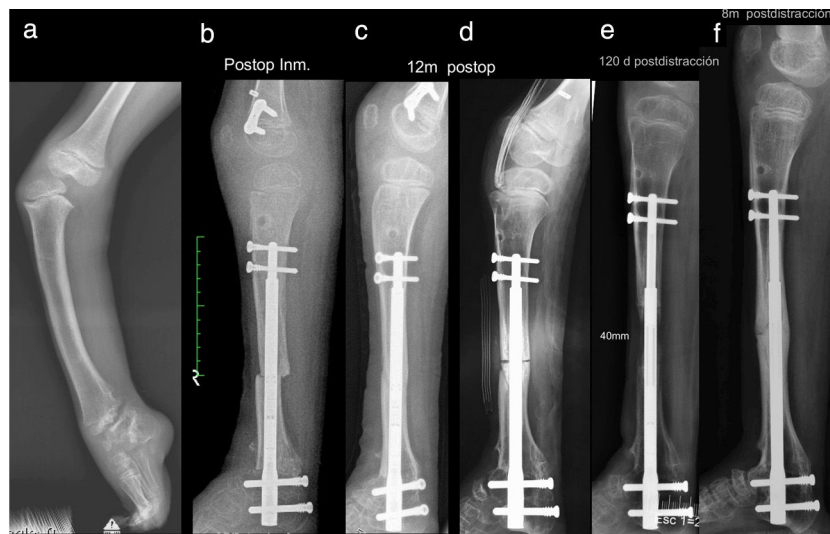


Figura 2 Paciente de 8 años con agenesia de peroné, luxación de rodilla y tobillo perdido. a) Preoperatorio. b) Postoperatorio inmediato tras corrección de las deformidades, fijación de tobillo y estabilización de la rodilla. Dado el alto riesgo de reluxación se decidió mantener el clavo «dormido» (sin distracción) y dejar consolidar la osteotomía. c) Osteotomía consolidada a los 12 meses del postoperatorio. d) Nueva osteotomía en ese momento para comenzar la elongación y retirada de placa en «8» femoral. e) 120 días postdistracción consiguiendo el objetivo de 4 cm de alargamiento. f) 8 meses postdistracción con el segmento consolidado.

La fiabilidad de los implantes ha sido alta en esta serie ya que ha funcionado sin problema en todos los casos menos uno, en el que falló la UCR y se solucionó fácilmente sustituyendo la unidad. El mecanismo interno del CEM no ha fallado en ninguno de nuestros casos. La precisión de los CEM Precice®, que también ha sido motivo de controversia en alguna publicación¹⁶, ha sido satisfactoria en nuestra serie, al igual que refieren otros autores^{17,18}.

La reconstrucción del segmento elongado ha sido muy satisfactoria, con un IC medio de 1,1 meses/cm, comparable al de series similares y al aceptado para los alargamientos clásicos¹¹. Esto contradice la antigua teoría de Ilizarov sobre la importancia de mantener intactas las estructuras endomedulares con el fin de conseguir una buena consolidación¹⁹, algo ya observado en otras series publicadas de alargamiento sobre clavo (ASC)^{20,21}.

Tabla 3 Complicaciones de la serie

ID	Cirugía	Aparato (CEM)	Consolidación	Distracción	Reoperación
1		<i>Movilización tornillo bloqueo</i>			<i>Sí</i>
2	<i>Sobrealargamiento</i>				
3		<i>Fallo UCR</i>			
4			<i>No-uni6n peron6</i>		
5			<i>Retardo tibia. No-uni6n peron6</i>		<i>Sí</i>
6					
7					
8	<i>Hernia cuádriceps</i>				<i>Sí</i>
9					
10					<i>Sí</i>
11		Rotura clavo		Subluxaci6n cadera	Sí
12					
13		<i>Pandeo clavo</i>			
14					
15				<i>Pie equino</i>	<i>Sí</i>
16			IC: 1,7 m/cm		
17		<i>Pandeo clavo</i>			
18					
19					
20					
21	Rigidez de rodilla				
22	<i>VR residual</i>				
23					
24			IC: 1,75 m/cm		
25				<i>RFL</i>	<i>Sí</i>
26				<i>RFL</i>	<i>Sí</i>
27	SDC pseudoa-neurisma				Sí
28	<i>VR residual</i>				
29	<i>VR residual</i>			<i>RFL</i>	
30			IC: 1,8 m/cm		
31					

En esta tabla se muestran las complicaciones de la serie, la fase o causa del problema y los pacientes que precisaron reintervenciones (en redonda: sin complicaciones; en cursiva: complicaciones menores; en negrita: complicaciones mayores).

CEM: clavo endomedular magnético; FL: fascia lata; IC: índice de consolidaci6n; RFL: retracci6n fascia lata; SDC: s6ndrome compartimental; UCR: unidad control remoto; VR: varo.

A pesar de estas ventajas, los CEM no est6n exentos de complicaciones ya que siguen siendo sistemas de distracci6n 6sea progresiva que producen un crecimiento antinatural de hueso²². En nuestra serie, m6s de la mitad de los alargamientos (55%) han presentado complicaciones por las que 9 de ellos han precisado ser reintervenidos, aunque solo han dejado secuelas permanentes en 2 pacientes (7,1%). Esta tasa de eventos adversos es claramente menor que la publicada en alargamientos convencionales y ASC³, pero sigue siendo alta²³.

Aunque la t6cnica operatoria se ha simplificado respecto a los alargamientos cl6sicos¹², las complicaciones

quir6rgicas de estos tratamientos pueden ser graves. En nuestra serie destaca un evento vascular, probablemente debido a un da6o arterial durante el encerrojado del clavo, que ha producido la secuela m6s importante en esta serie. El ac6mulo de tensiones generado colocando 2 implantes intramedulares sin apenas separaci6n entre ambos provoc6 una fractura femoral en otro caso. Este evento podr6a haberse evitado utilizando un CEM m6s corto o alargando el otro segmento de la extremidad. El varo proximal femoral producido en la inserci6n del CEM en 3 clavos femorales trocant6ricos provoc6 como consecuencia una p6rdida inmediata de algunos mil6metros que luego oblig6 a sobrealargar y una

leve medialización del eje mecánico que necesitará más seguimiento para conocer su repercusión. En alargamientos tibiales proximales, en cambio, no hemos observado antecurvatum del fragmento proximal, tendencia muy conocida en el enclavado de las fracturas de su tercio proximal²⁴. Una idea para aminorar este efecto consiste en colocar tornillos Poller mediales en el fragmento proximal femoral o posteriores en el proximal tibial. Los tornillos tibiales son muy usados, pero en el fémur proximal su colocación es técnicamente más comprometida y podría debilitar el cálcar. Por ello, para evitar el varo en el fémur proximal, nuestra recomendación sería hacer la osteotomía en hueso más diafisario (más tubular).

Aunque se han publicado casos de roturas y fallos mecánicos del CEM^{25,26}, en nuestros pacientes solo se ha producido una rotura del implante, probablemente por no seguir las indicaciones sobre el inicio de la carga. En otros 2 casos hemos observado un leve pandeo del clavo, aunque al haberse detectado tras conseguir la elongación prevista, no han tenido consecuencias para el paciente. La aparición de nuevos clavos magnéticos de mayor resistencia, que permiten el apoyo precoz, podría ser una buena opción para evitar esta complicación en los casos en que se prevea mayor tensión, bien por la etiología o por la magnitud de la elongación²⁷. Existe controversia sobre la manera de valorar la resistencia de la consolidación del segmento elongado, con vistas a permitir la carga, y no es fácil realizar una medición objetiva²⁸. Estudios preliminares en alargamientos con CEM abogan por la fiabilidad de la valoración radiográfica de la densidad de pixels en este cometido²⁹. Nosotros nos hemos guiado por la evolución radiológica del regenerado óseo y permitimos el comienzo de carga progresiva cuando apreciamos al menos 3 corticales del mismo grosor que la cortical original.

Las complicaciones por distracción con CEM en nuestros casos se han centrado en la musculatura y las articulaciones adyacentes al hueso intervenido provocando un caso grave de subluxación de cadera y 4 retracciones de tendón de Aquiles o fascia lata. Las articulaciones, sobre todo si son inestables preoperatoriamente, son muy vulnerables a la distracción y pueden producirse subluxaciones o luxaciones que si no se detectan a tiempo son muy difíciles de solucionar^{3,22}, como ha ocurrido en uno de nuestros casos.

El uso de los CEM está limitado en pacientes con fisis abiertas ya que observaciones previas refieren daño fisario frecuente en enclavado de fracturas femorales en pacientes inmaduros³⁰. Nuestros 2 pacientes menores de 10 años presentaban fisis cerradas en la vía de abordaje, por lo que no había riesgo de alterar el crecimiento de esa zona. Otra limitación de los CEM está en casos de deformidad severa asociada al acortamiento³¹. Por ello en nuestra serie ninguna de las deformidades superaba los 20°. La tercera potencial limitación de los CEM es el coste del implante. Sin embargo, hay estudios comparativos con los alargamientos clásicos en los que sumando todos los costes del proceso los resultados son favorables a los realizados con CEM³².

Las limitaciones principales de este trabajo son su carácter retrospectivo y la magnitud de la muestra, que hace que nuestras conclusiones no puedan ser categóricas. Sin

embargo, creemos que esta experiencia preliminar puede aportar enseñanzas útiles a futuros usuarios y sobre todo alertar sobre las dificultades más frecuentes de los alargamientos óseos con CEM.

Conclusiones

En pacientes menores de 18 años, la elongación ósea con CEM de hasta 8 cm ha conseguido su objetivo en más de un 90% de los casos, de manera eficaz, fiable, precisa y segura.

Además, ha demostrado ser una técnica ventajosa sobre los sistemas tradicionales, ya que simplifica la técnica quirúrgica, elimina los problemas asociados a la fijación externa y tutoriza el segmento operado hasta su consolidación.

A pesar de estas ventajas, siguen siendo tratamientos con una alta tasa de complicaciones, fundamentalmente asociadas a la distracción generada en el proceso.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia IV.

Financiación

La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Protección de personas y animales

Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.

Confidencialidad de los datos

Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado

Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

Agradecimientos

A Óscar Sánchez, Iván García y Mónica Alda por el apoyo técnico brindado en las intervenciones realizadas.

Bibliografía

1. Codivilla A. On the means of lengthening in the lower limbs, the muscles and tissues which are shortened through deformity. *Am J Orthop Surg*. 1905;2:353–69.
2. Gil-Albarova J, de Pablos J. Técnicas de elongación ósea. *Rev Esp Cir Osteoart*. 1992;27:243–9.
3. Hosny GA. Limb lengthening history evolution, complications and current concepts. *J Orthop Traumatol*. 2020;21:3, <http://dx.doi.org/10.1186/s10195-019-0541-3>.
4. Noonan KJ, Leyes M, Forriol F, Cañadell J. Distraction osteogenesis of the lower extremity with use of monolateral external fixation. A study of two hundred and sixty-one femora and tibiae. *J Bone Joint Surg*. 1998;80:793–806, <http://dx.doi.org/10.2106/00004623-199806000-00003>.
5. Hasler CH, Krieg AH. Current concepts of leg lengthening. *J Child Orthop*. 2012;6:89–104, <http://dx.doi.org/10.1007/s11832-012-0391-5>.
6. Kocaoglu M, Eralp L, Kilicoglu O, Burc H, Cakmak M. Complications encountered during lengthening over an intramedullary nail. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86:2406–11, <http://dx.doi.org/10.2106/00004623-200411000-00007>.
7. Baumgart R, Betz A, Schweiberer L. A fully implantable motorized intramedullary nail for limb lengthening and bone transport. *Clin Orthop Relat Res*. 1997;343:135–43.
8. Rozbruch SR, Birch JG, Dahl MT, Herzenberg JE. Motorized intramedullary nail for management of limb-length discrepancy and deformity. *J Am Acad Orthop Surg*. 2014;22:403–9, <http://dx.doi.org/10.5435/JAAOS-22-07-403>.
9. Green SA, Fragomen AT, Herzenberg JE, Iobst C, McCarthy JJ, Nelson SC, et al. A magnetically controlled lengthening nail: A prospective study of 31 individuals (The PRECICE intramedullary nail study). *J Limb Lengthen Reconstr*. 2018;4:67–75.
10. De Bastiani G, Aldegheri R, Renzi-Brivio L, Trivella G. Limb lengthening by callus distraction (Callotasis). *J Pediatr Orthop*. 1987;7:129–34.
11. Aldegheri R, Renzi-brivio L, Agostini S. The callotasis method of limb lengthening. *Clin Orthop Relat Res*. 1989;241:137–45.
12. Paley D. PRECICE intramedullary limb lengthening system. *Expert Rev Med Devices*. 2015;12:231–1499.
13. Landge V, Shabtai L, Gesheff M, Specht SC, Herzenberg JE. Patient satisfaction after limb lengthening and external devices. *J Surg Orthop Adv*. 2015;24:174–9.
14. Leyes M, Noonan KJ, Forriol F, Cañadell J. Statistical analysis of axial deformity during distraction osteogenesis of the tibia. *J Pediatr Orthop*. 1998;18:190–7.
15. De Pablos J. Alargamientos de los miembros en las hipometrias simétricas. *Rev Esp Cir Osteoart*. 1992;27:263–8.
16. Schiedel FM, Vogt B, Tretow HL, Schuhknecht B, Gosheger G, Hörter MJ, et al. How precise is the PRECICE compared to the ISKD in intramedullary limb lengthening? Reliability and safety in 26 procedures. *Acta Orthop*. 2014;85:293–8, <http://dx.doi.org/10.3109/17453674.2014.913955>.
17. Kirane YM, Fragomen AT, Rozbruch RS. Precision of the PRECICE internal bone lengthening nail. *Clin Orthop Relat Res*. 2014;472:3869–78, <http://dx.doi.org/10.1007/s11999-014-3575-0>.
18. Wagner P, Burghardt RD, Green SA, Specht SC, Standard SC, Herzenberg JE. PRECICE magnetically-driven, telescopic, intramedullary lengthening nail: pre-clinical testing and first 30 patients. *SICOT J*. 2017;3:19–26, <http://dx.doi.org/10.1051/sicotj/2016048>.
19. Ilizarov GA, Ledyasev VI, Shitin VP. Experimental studies of bone lengthening. *Eksp Khir Anesteziol*. 1969;14:3.
20. Paley D, Herzenberg J, Paremain G, Bhavé A. Femoral lengthening over an intramedullary nail. A matched-case comparison with Ilizarov femoral lengthening. *J Bone Joint Surg Am*. 1997;79:1464–80, <http://dx.doi.org/10.2106/00004623-199710000-00003>.
21. González Herranz P. Elongaciones óseas con clavos endomedulares. *Rev Ortop Traumatol*. 2001;45:330–7.
22. De Pablos J. Problems related to the use of monolateral external fixation. How to escape from complications. En Herzenberg JE (ed.), *Pitfalls and Rehabilitation in limb lengthening*. Rubin Institute for Advanced Orthopedics. Baltimore; 2010: 9–11.
23. Frost MW, Rahbek O, Traerup J, Ceccotti AA, Kold S. Systematic review of complications with externally controlled motorized intramedullary bone lengthening nails (FITBONE and PRECICE) in 983 segments. *Acta Orthopaedica*. 2020;1–8, <http://dx.doi.org/10.1080/17453674.2020.1835321>.
24. Liporace FA, Stadler ChM, Yoon RS. Problems, tricks and pearls in intramedullary Nailing of proximal third tibial fractures. *J Orthop Trauma*. 2013;27:56–62, <http://dx.doi.org/10.1097/BOT.0b013e318250f041>.
25. Lee DH, Kim S, Lee JW, Park H, Kim TY, Kim HW. A Comparison of the device-related complications of intramedullary lengthening nails using a new classification system. *Biomed Res Int*. 2017;2017:8032510, <http://dx.doi.org/10.1155/2017/8032510>.
26. Tiefenboeck TM, Zak L, Bukaty A, Wozasek GE. Pitfalls in automatic limb lengthening – First results with an intramedullary lengthening device. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2016;102:851–5, <http://dx.doi.org/10.1016/j.otsr.2016.07.004>.
27. Robbins C, Paley D. Stryde weight-bearing internal lengthening nail. *Tech Orthop*. 2020;35:201–8.
28. Tirawanish P, Eamsobhana P. Prediction of callus subsidence in distraction osteogenesis using callus formation scoring system: preliminary study. *Orthop Surg*. 2018;10:121–7, <http://dx.doi.org/10.1111/os.12374>.
29. Vulcano E, Markowitz JS, Ali S, Nguyen J, Fragomen AT, Rozbruch SR. Assessment of bone healing during antegrade intramedullary rod femur lengthening using radiographic pixel density. *J Am Acad Orthop Surg*. 2018;26:e388–94, <http://dx.doi.org/10.5435/JAAOS-D-16-00949>.
30. Gonzalez-Herranz P, Burgos-Flores J, Rapariz JM, López-Mondejar JA, Ocete G, Amaya S. Intramedullary nailing of the femur in children. Effects on its proximal end. *J Bone Joint Surg*. 1995;77:262–6.
31. Iobst CA, Rozbruch SR, Nelson S, Fragomen A. Simultaneous acute femoral deformity correction and gradual limb lengthening using a retrograde femoral nail: technique and clinical results. *J Am Acad Orthop Surg*. 2018;26:241–50, <http://dx.doi.org/10.5435/JAAOS-D-16-00573>.
32. Richardson SS, Schairer WW, Fragomen AT, Rozbruch SR. Cost comparison of femoral distraction osteogenesis with external lengthening over a nail versus internal magnetic lengthening nail. *J Am Acad Orthop Surg*. 2019;27:e430–6, <http://dx.doi.org/10.5435/JAAOS-D-17-00741>.