

INVESTIGACIÓN

Corrección de deformidades angulares óseas: análisis experimental de dispositivos dinámicos y estáticos

RODOLFO GOYENECHÉ, CLAUDIO PRIMOMO,
NORBERTO LAMBERT y HORACIO MISCIONE

Hospital de Pediatría Juan P. Garrahan, Buenos Aires

RESUMEN

Introducción: La corrección de una deformidad angular en un miembro mediante una hemiepifisiodesis siempre debe ser tenida en cuenta en un niño. La colocación de un dispositivo dinámico (grapa en 8) presentaría la ventaja sobre la grapa convencional de proveer fijación firme a ambos lados de la fisis, actuando principalmente sobre el crecimiento de la hemifisis del lado de la inserción del implante.

El objetivo de nuestro estudio es comparar la eficacia de ambos dispositivos (estático y dinámico) para realizar modificaciones angulares.

Materiales y métodos: Se utilizaron 17 conejos de 8 semanas de vida. A cada conejo se le colocó una placa en 8 en el fémur distal y una grapa en el fémur contralateral. A las 8 semanas se evaluó la deformidad producida por cada sistema radiológica e histológicamente.

Resultados: Deformidad axial: las grapas produjeron una desviación promedio de 48,1° y las placas en 8, de 49,8° ($p = 0,44$). Crecimiento longitudinal final de los fémures: grapas de 83,17 y para la P8 de 85,7 ($p = 0,0042$). Análisis histológico: no se hallaron diferencias significativas entre ambos fémures de un mismo espécimen, pero sí ligeras diferencias entre los animales.

Conclusiones: La corrección fue más rápida con la grapa convencional. La eficacia de ambos sistemas de epifisiodesis a largo plazo es similar. La inhibición del crecimiento longitudinal es menor con la placa en 8.

PALABRAS CLAVE: Genu valgo. Genu varo. Epifisiodesis. Grapa de Blount. Modelo en conejo.

CORRECTION OF BONE ANGLE DEFORMITIES: EXPERIMENTAL ANALYSIS WITH DYNAMIC AND STATIC DEVICES

ABSTRACT

Background: limb angle deformity correction with hemiepiphysiodesis should always be considered in children. The placement of a dynamic device (figure of 8 staple) is more advantageous than conventional staples in providing stable fixation on both sides of the physis, acting mainly on hemi-physis growth in the implant insertion side. The purpose of our study is to compare the efficacy of both devices (static and dynamic) for angle modifications.

Methods: 17, 8-week-old rabbits were used for the study. Each rabbit received a figure of 8 plate in the distal femur and a staple in the contralateral femur. At eight weeks the deformity produced by each system was evaluated from a radiological and histological perspective.

Results: Axial deformity: staples produced 48.1° average deviation and figure of 8 plates 49.8° average deviation ($p = 0.44$). Final longitudinal femoral growth: staples 83.17 and figure of 8 plate 85.7 ($p = 0.0042$). Histological analysis: no significant differences were found between both femurs in the same animal, although slight inter-animal differences were found.

Conclusions: correction was faster with conventional staples, The long-term efficacy of both epiphysiodesis systems is similar. Longitudinal growth inhibition is lower with the figure of 8 plate.

KEY WORDS: Genu valgo. Genu varo. Epiphysiodesis. Blount staple. Rabbit model.

Recibido el 19-12-2008. Aceptado luego de la evaluación el 24-7-2009.
Correspondencia:

Dr. RODOLFO GOYENECHÉ
rgoyeneche@gmail.com

La corrección de una deformidad angular en un miembro puede realizarse mediante una osteotomía o modificando el crecimiento fisario con una hemiepifisiodesis.

Esta última opción siempre debe ser tenida en cuenta en un niño.

Phemister desarrolla, en 1933, el concepto de lesión controlada de la fisis para modificar el crecimiento longitudinal óseo.¹³ Haas, en 1945, describe por primera vez la epifisiodesis provocada por un dispositivo (lazadas de alambre) y llega además a dos importantes conclusiones: la lesión unilateral provocará detención de un solo lado y desviación axial; al retirar el dispositivo, el crecimiento puede reanudarse.⁹

En 1949 Blount presenta su experiencia en la hemiepifisiodesis para corrección angular con grapas. Si bien su método continúa vigente, las grapas ocasionan algunas complicaciones: roturas, extrusión y cierre definitivo de la fisis.²

Stevens, en 2007, presenta su técnica de epifisiodesis con una placa de dos orificios, fijada con dos tornillos (placa en 8).

Este sistema de fijación no comprime la fisis como una grapa y tiene mejor amarre óseo.¹⁶

Muchas veces durante una hemiepifisiodesis transitoria en pacientes pequeños, las patas de las grapas convencionales toman más de la mitad del disco fisario produciendo el arresto completo de la fisis. Por otro lado, si se acortan las patas, la fijación es menor y puede favorecer la extrusión del implante.

La colocación de un dispositivo dinámico presentaría la ventaja de proveer fijación firme a ambos lados de la fisis aun atravesando todo el diámetro del hueso, actuando principalmente sobre el crecimiento de la hemifisis del lado de la inserción del implante. Teóricamente, produciría además un grado de modificación angular más eficiente.¹⁶

No existen en la bibliografía estudios experimentales que comparen ambos sistemas ni que avalen el uso de este dispositivo en los seres humanos.

El objetivo de nuestro estudio es comparar la eficacia de ambos dispositivos (estático y dinámico) para realizar modificaciones angulares en huesos con fisis abierta.

Materiales y métodos

Para este modelo experimental se utilizaron 17 conejos New Zealand de 8 semanas de vida.

El protocolo de investigación fue aprobado por el Comité de Docencia e Investigación de nuestra institución.

A cada conejo se le colocó una placa en 8 en el fémur distal y una grapa en el fémur contralateral (asignados al azar).

La placa en 8 fue diseñada acorde con el tamaño del fémur del conejo, en acero inoxidable 316, en un espesor de 0,5 mm. Se usaron dos tornillos del mismo material de 1,2 mm de diámetro y 7,5 mm de longitud, con una separación entre los orificios de la placa de 8,2 mm (Fig. 1).

Se utilizó una grapa de acero 316 de 1,4 mm de diámetro, 6,4 mm de abertura y 7 mm de largo de patas, diseñada también para esta investigación.

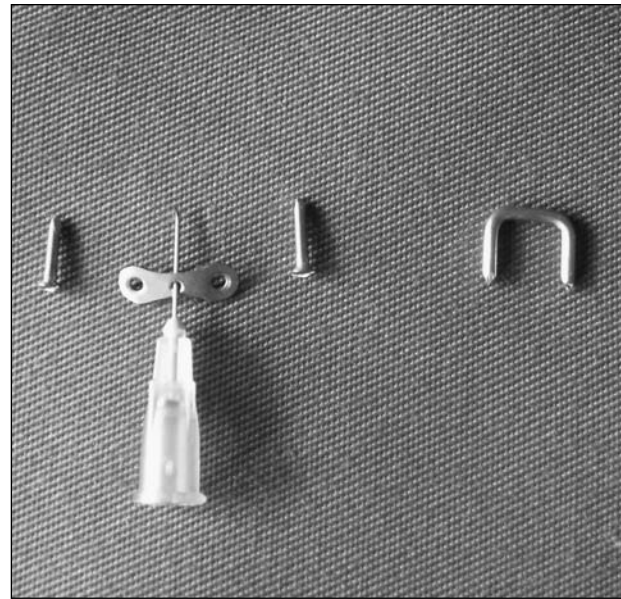


Figura 1. Osteosíntesis empleadas.

Protocolo anestésico: premedicación con sulfato de atropina 1 mg/kg, ketamina en dosis de 30 mg/kg y midazolam, 0,1 mg/kg, por vía intramuscular. Luego se realizó la tricotomía de la zona quirúrgica y se colocó una vía venosa periférica en la vena marginal de la oreja con un catéter 24. Se suministró solución de Ringer lactato con microgotero. Se indujo con anestesia inhalatoria con mascarilla con isoflurano al 5%, que se mantuvo al 0,5% con el agregado de fentanilo, en dosis de 1 µg/kg por vía intravenosa. Se infiltró la zona quirúrgica con lidocaína al 2% con epinefrina.

Se efectuó profilaxis antibiótica con enrofloxacin en dosis de 0,1 mg/kg por vía intramuscular.

Se realizó antisepsia con yodopovidona y se colocaron los campos estériles.

A través de un abordaje lateral parapatelar, luxando la rótula hacia medial, se localizó la fisis con intensificador de imágenes, evitando la lesión del pericondrio durante el procedimiento.

Para colocar la placa en 8, primero se colocó una aguja sobre la fisis y a través de ella se presentó la placa. Se realizaron dos orificios con mecha en los cuales se insertaron los tornillos.

La grapa se colocó previa perforación con mecha de la cortical. Se constató la correcta posición de los implantes mediante radioscopia.

Se reposicionó la rótula y se cerraron las heridas en dos planos, con sutura reabsorbible (Vicryl 4/0). No se aplicó ningún tipo de vendaje ni inmovilización.

Posoperatorio: se mantuvo la antibioticoterapia con enrofloxacin en dosis de 0,1 mg/kg cada 12 horas durante 10 días. Como analgésico se usó meglumina de flumixina (Banamide®) en dosis de 0,1 mg/kg durante 3 días.

Una vez recuperados de la anestesia, los conejos fueron regresados a sus jaulas y se les permitió usar los miembros libremente.

Se realizaron cuatro controles radiográficos: en el posoperatorio inmediato, a las 2 semanas, a la cuarta semana y un último a la octava semana, luego de sacrificados los animales (Fig. 2).



Figura 2. Radiografía inicial, semana 2 y semana 4.

Variables registradas

- Longitud femoral.
- Ángulo anatómico lateral femoral distal (aALFD) en proyección radiológica AP.
- Correcta inserción del implante (dicotómica) en las radiografías AP y de perfil.
- Rotura del implante (dicotómica) en las radiografías AP y de perfil.

En la octava semana del estudio (16 semanas de vida) se practicó la eutanasia de todos los animales con pentotal sódico, bromuro de pancuronio y cloruro de potasio por vía intravenosa.

Se extrajeron los fémures completos, se realizó control radiográfico, se retiraron los implantes y se enviaron a estudio anatomopatológico. Los fémures disecados se procesaron con técnicas de rutina: fijación en formol al 10%, descalcificación, inclusión en parafina, corte y coloración con hematoxilina y eosina. El análisis histológico se realizó con cegamiento, desconociendo el patólogo a qué grupo pertenecía el preparado.

Resultados

Análisis estadístico

- Planilla de registro de datos confeccionada en Excel.
- Análisis estadístico descriptivo: media, mediana y desviación estándar.
- Análisis estadístico comparativo: prueba de la *t* de Student para muestras apareadas, estudio de dos colas. Se consideró significativa una $p < 0,05$.
- Tamaño muestral: determinado por tabla para un error $\alpha = 0,05$, una potencia de 80% y un tamaño de efecto esperado de 0,80.
- Todos los análisis y gráficos fueron realizados con STATA 9.1.

Todos los animales operados completaron el estudio.

Como complicaciones se registraron: un hematoma posoperatorio en el fémur, que se resolvió sin tratamiento; una fractura de pierna y tres lesiones en los dedos de las patas traseras, provocadas por atrapamiento del miembro en el piso de la jaula que no interfirieron en el desarrollo del estudio.

No hubo infecciones, extrusión ni rotura de los implantes.

Resultados radiográficos

Se implantaron 17 grapas y 17 placas en 8 (total 34 fémures operados).

Deformidad axial: el ángulo anatómico lateral femoral distal (aALFD) promedio al inicio del experimento y considerado normal en el conejo de 8 semanas fue de 85° . Los valores absolutos del aALFD, a las 4 semanas y las diferencias entre cada grupo se observan en la Tabla 1. Las grapas habían producido una desviación promedio de $29,34^\circ$ y las P8 una desviación de $26,6^\circ$ ($p = 0,007$). Sin embargo, al finalizar el experimento esta diferencia se acortó: $48,1^\circ$ para la grapa y $49,8^\circ$ para la P8 ($p = 0,44$) (Tabla 1).

Esto demuestra que si bien al principio la corrección es mayor con las grapas, por último no hay diferencias entre ambos métodos (Fig. 3).

Crecimiento longitudinal: la longitud inicial media de los fémures fue de 64,25 mm. La máxima tasa de crecimiento se registró en las 4 primeras semanas del estudio. En la cuarta semana, los fémures con grapa tenían una longitud media de 78,5 mm, en tanto que los del grupo de placa en 8 habían alcanzado una longitud de 82,83 mm (Tabla 2). Esta diferencia es estadísticamente significativa ($p = 0,0013$), y se mantuvo hasta el final del estudio (Fig. 4).

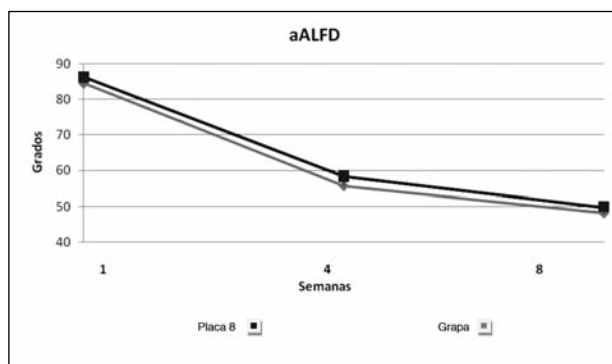
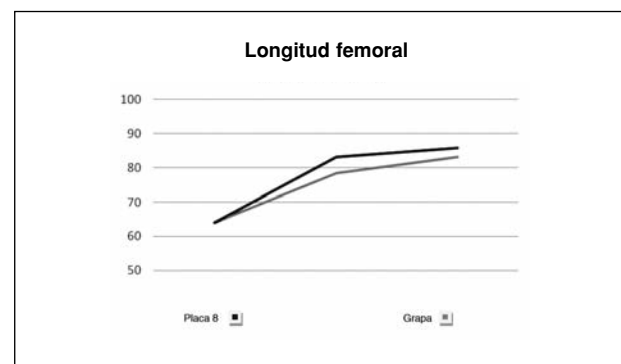
Entre las semanas 4 y 8 el crecimiento se desaceleró. La longitud final de los fémures fue para el grupo de las

Tabla 1. Variación axial

	Grapa	Placa en 8	Diferencia	Valor de p
	<i>aALDF (grados)</i> <i>Media ± DE</i>	<i>aALDF (grados)</i> <i>Media ± DE</i>	<i>Grados</i>	
4ª semana	55,66 ± 13,3	58,33 ± 14,22	2,67	0,0074
8ª semana	48,11 ± 9,15	49,82 ± 9,42	1,71	0,44

Tabla 2. Longitud femoral

	Grapa	Placa en 8	Diferencia	Valor de p
	<i>Long (mm)</i> <i>Media ± DE</i>	<i>Long (mm)</i> <i>Media ± DE</i>	<i>milímetros</i>	
4ª semana	78,5 ± 5,12	82,83 ± 6,17	4,33	0,0013
8ª semana	83,17 ± 7,05	85,71 ± 6,56	2,54	0,0042

**Figura 3.****Figura 4.**

grapas de 83,17 y para la P8, de 85,7 ($p = 0,0042$) (Fig. 4). Además de un crecimiento menor se observa una dispersión mayor de los valores registrados (Fig. 5).

Resultados histológicos

Se estudiaron en total 34 fémures. Se evaluaron las características morfológicas del cartílago de crecimiento considerando las zonas proliferativa, hipertrófica, de mineralización/osificación y analizando la arquitectura celular, la altura de las columnas y el número de células.^{1,6,14,15}

Se observaron zonas de desorganización celular cercanas al sitio de inserción de los implantes en 9 preparados (5 de un grupo y 4 de otro). No se hallaron diferencias significativas entre ambos fémures de un mismo espécimen, pero sí ligeras diferencias entre los animales (p. ej.,

conejo 1 y conejo 9). En ningún preparado se encontró evidencia de lesión de la fisis por el implante (Fig. 6).

Discusión

En 1945 Haas publica la primera referencia sobre la epifisiodesis con un dispositivo implantado alrededor de la fisis⁹. Mediante lazadas de alambre en distintas configuraciones, provoca la detención total del crecimiento en perros, pero además menciona dos conclusiones fundamentales: que el crecimiento puede reanudarse si el dispositivo es retirado a tiempo, y que se puede alterar el eje de crecimiento si la lazada de alambre se aplica en un lado de la fisis.

Estimulado por el estudio de Haas, Blount comienza ese mismo año a realizar epifisiodesis con grapas en

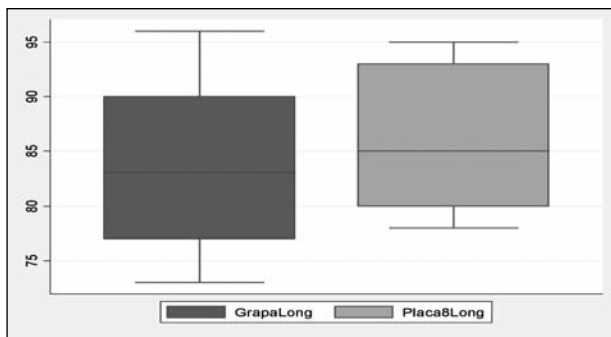


Figura 5.

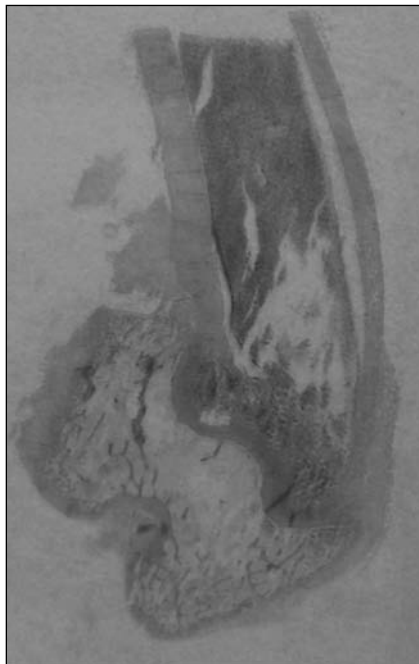


Figura 6. Preparado histológico.

niños, pero recién en 1949 publica su trabajo.² Para evitar la deformidad o la rotura de la grapa, aconseja colocar tres. Sin embargo, advierte que puede ser preferible algún grado de deformidad o deslizamiento del implante para evitar la lesión definitiva de la fisis. En sus conclusiones afirma que las grapas son un método útil para corregir una deformidad angular y que el crecimiento se reanuda luego de retirarlas. Por último, formula una serie de preguntas, marcando una nueva línea de investigación: ¿cuál es el diseño y el tamaño ideal para una grapa? ¿Cuánto tiempo es seguro dejarlas? ¿Qué factores afectan el cierre fisario?

El método de Blount está vigente aún hoy después de más de sesenta años,⁵ pero también persisten sus complicaciones:

- Rotura o deformidad del implante: Blount cambió el acero inoxidable por el vitalio; más tarde reforzó los

hombros de la grapa para evitar la apertura de las patas. Por último aconsejó poner tres grapas para disminuir la posibilidad de una reintervención por falla del material.

- Extrusión: se diseñaron grapas dentadas que mejoraron el agarre y multiplicaron los problemas en el momento del retirarlas. Tradicionalmente, las indicaciones de epifisiodesis con grapa se mantenían por encima de los 10 años de edad, pero en los últimos años se han presentado trabajos en los que se realizó hemiepifisiodesis en niños de corta edad.¹² En este grupo de pacientes, al menos una pata de la grapa asienta en el cartílago y la extrusión es la regla poco tiempo después de colocado el implante.
- Error en la colocación: la placa fisaria no es un disco plano, sino que presenta ondulaciones, sobre todo la femoral distal y no es raro que una sola grapa aparente estar bien colocada en el frente, pero no tome correctamente la fisis en el perfil. Blount reducía la posibilidad de error colocando tres grapas.

Para evitar el uso de implantes, Bowen publica en 1985 un método de hemiepifisiodesis definitiva. Mediante unos gráficos y conociendo la magnitud de la deformidad y el crecimiento remanente, se podría determinar el momento de la cirugía. Presenta una experiencia de 9 pacientes adolescentes seguidos hasta la madurez. El método es riesgoso y no ha sido validado por otros autores hasta la fecha.³

La hemiepifisiodesis percutánea con tornillo transfisario empleando un único tornillo, colocado en forma oblicua o vertical, ganó popularidad, sobre todo en Europa, luego del trabajo de Metaizeau en 1998. Todos los informes de su uso se refieren a adolescentes y en general se limitan a la corrección de pocos grados de valgo.^{7,11,17}

En 2007 Stevens presenta su experiencia preliminar con la placa en 8 en 34 pacientes. El diseño de este dispositivo surge como respuesta a las complicaciones de la grapa enumeradas antes. El reemplazo de las patas por tornillos mejora el amarre al hueso o al cartílago epifisario del implante y evita la extrusión en los niños pequeños. La movilidad que mantienen los tornillos con la placa disminuye o anula el efecto del estrés sobre el implante que provoca finalmente la rotura. El diseño con un orificio central facilita la colocación exacta sobre el cartílago de crecimiento. Stevens además describe otras propiedades teóricas de la placa: la grapa crearía una bisagra rígida que no sólo actúa en la periferia sino en todo el largo de la pata, esto es en general, casi hasta el centro de la fisis. La placa en 8, en cambio, funciona como una verdadera bisagra, limitando el crecimiento sólo en la periferia, por lo que la corrección debería ser más rápida.¹⁰ Esta última afirmación no pudo demostrarse. Por el contrario, la experiencia clínica acumulada hasta ahora muestra que la corrección es más rápida con la grapa convencional.

En 2008 Stevens publica el único estudio experimental en animales que compara el uso de placas y grapas. Se trata de 16 conejos, 8 con placas y 8 con grapas. cuatro de las 8 grapas se salieron antes de las 2 semanas y 1, en la quinta semana; 3 conejos se infectaron y fueron retirados del estudio (2 placas y 1 grapa) y 2 fueron sacrificados a las 2 semanas para estudio histológico. Sólo 6 conejos completaron el protocolo. La única conclusión a que se llega es que ambos métodos alteran el crecimiento, pero sin encontrar diferencias significativas.¹⁰

En nuestro modelo experimental no observamos ninguna complicación grave. Tanto las grapas como la placa en 8 permanecieron correctamente posicionadas las 8 semanas y no hubo ninguna rotura de implante. Esto lo atribuimos a su correcto diseño: la solidez de la grapa para evitar su rotura y el diseño de la placa en 8 que facilita su correcta colocación en la fisis.

Todos los fémures sufrieron una grosera deformidad en valgo y no se registraron diferencias significativas al final del estudio. Sin embargo, los controles de la cuarta semana muestran mayor deformidad en el grupo de las grapas. Esto confirmaría la impresión clínica de Paley en su análisis de la placa en 8 publicado en 2008: la corrección es más rápida usando una grapa y por eso prefiere su uso en pacientes con poco crecimiento remanente.⁴ Creemos que la grapa correctamente colocada actúa como un freno inmediato de la fisis, inhibiendo gran parte del crecimiento periférico. La placa en 8, en cambio, tendría un período de latencia, dado por la elasticidad intrínseca del sistema, antes de comenzar a actuar como fulcro. En nuestro trabajo, en ninguno de los dos grupos la histología mostró cambios en la estructura de los cartílagos de crecimiento. Todas las fisis estaban activas al finalizar el estudio.

Si bien sabemos que al actuar en la periferia del cartílago con la hemiepifisiodesis en realidad se afecta toda la actividad celular de la fisis⁸, en el análisis de nuestros

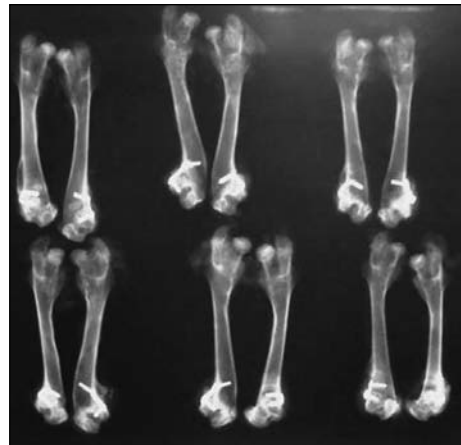


Figura 7. Radiografía final. Se observa la diferencia de longitud entre las placas y las grapas.

datos vimos que la longitud de todos los fémures del grupo con placas fue mayor que los del grupo con grapas (Fig. 7). Esto tendría que estar relacionado con la rigidez de cada sistema (grapa o placa). Magnificar cuánta inhibición del crecimiento longitudinal se produce por cada grado de desviación axial ocasionado podrá ser objeto de otra línea de investigación.

Conclusiones

1. El correcto diseño del implante reduce al mínimo su falla.
2. La corrección pareciera ser más rápida con la grapa convencional.
3. La eficacia de ambos sistemas de epifisiodesis a largo plazo es similar.
4. La inhibición del crecimiento longitudinal es menor con la placa en 8.

Bibliografía

1. Aykut US, Yazici M, Kandemir U, et al. The effect of temporary hemiepiphyseal stapling on the growth plate: a radiologic and immunohistochemical study in rabbits. *J Pediatr Orthop.* 2005;25(3):336-41.
2. Blount WP, Clarke GR. Control of bone growth by epiphyseal stapling: APreliminary Report. *J Bone Joint Surg Am.* 1949; 31:464-78.
3. Bowen JR, Leahey JL, Zhang ZH, MacEwen GD. Partial epiphysiodesis at the knee to correct angular deformity. *Clin Orthop Relat Res.* 1985;198:184-90.
4. Burghardt RD, Herzemberg J, Standard S, et al. Temporary hemiepiphyseal arrest using a screw and plate device to treat knee and ankle deformities in children: a preliminary report. *J Child Orthop.* 2008;2:187-97.
5. Bylski-Austrow DI, Wall EJ, Rupert MP, et al. Growth plate forces in the adolescent human knee: a radiographic and mechanical study of epiphyseal staples. *J Pediatr Orthop.* 2001;21(6):817-23.
6. Erlich M, Mankin H, Treadwell. Biochemical and Physiological Events During Closure of the Stapled Distal Femoral Epiphyseal Plate in Rats. *J Bone Joint Surg Am.* 1972;54:309-22.

7. **De Brauwert V, Moens P.** Temporary hemiepiphysiodesis for idiopathic genua valga in adolescents: percutaneous transphyseal screws (PETS) versus stapling. *J Pediatr Orthop.* 2008;28(5):549-54.
8. **Farnum CE, Nixon A, Lee AO, et al.** Quantitative three-dimensional analysis of chondrocytic kinetic responses to short-term stapling of the rat proximal tibial growth plate. *Cells Tissues Organs.* 2000;167(4):247-58.
9. **Haas S L.** Retardation of bone growth by a wire loop. *J Bone Joint Surg Am.* 1945;27:25-36.
10. **Mast N, Brown NA, Brown C, et al.** Validation of a genu valgum model in a rabbit hind limb. *J Pediatr Orthop.* 2008;28(3):375-80.
11. **Métaizeau JP, Wong-Chung J, Bertrand H, et al.** Percutaneous epiphysiodesis using transphyseal screws (PETS). *J Pediatr Orthop.* 1998;18(3):363-9.
12. **Mielke CH, Stevens PM.** Hemiepiphyseal stapling for knee deformities in children younger than 10 years: a preliminary report. *J Pediatr Orthop.* 1996;16(4):423-9.
13. **Phemister DB.** Operative arrestment of longitudinal growth of bones in the treatment of deformities. *J Bone Joint Surg Am.* 1933;15:1-15.
14. **Ross TK, Zions LE.** Comparison of different methods used to inhibit physeal growth in a rabbit model. *Clin Orthop Relat Res.* 1997;(340):236-43.
15. **Siffert R B.** The Effect of Staples and Longitudinal Wires on Epiphyseal Growth: An Experimental Study. *J Bone Joint Surg Am.* 1956;38:1077-88.
16. **Stevens PM.** Guided growth for angular correction: a preliminary series using a tension band plate. *J Pediatr Orthop.* 2007;27(3):253-9.
17. **Waris E, Ashammakhi N, Kelly CP, et al.** Transphyseal bioabsorbable screws cause temporary growth retardation in rabbit femur. *J Pediatr Orthop.* 2005;25(3):342-5.