

El enclavado medular sin fresar

Unreamed intramedullary nailing

DÍEZ ULLOA, M. A., y COUCEIRO, J.

Cirugía Ortopédica y Traumatología. Hospital Clínico Universitario de Santiago de Compostela.
Santiago de Compostela (La Coruña).

RESUMEN: La técnica del enclavado medular fresado origina dos problemas biológicos: la destrucción del sistema vascular endomedular y la generación de episodios de hipertensión endomedular, origen de intravasación de productos del fresado en el sistema venoso aferente, los cuales se han intentado subsanar con el enclavado endomedular sin fresado.

El objetivo del presente trabajo es revisar la bibliografía publicada sobre esta técnica no fresada y analizar la experiencia de nuestro Servicio con ella, para intentar definir aquellas situaciones en las que sea aconsejable no fresar o, por el contrario, aquellas en las que sea recomendable hacerlo.

PALABRAS CLAVE: Fractura. Hueso largo. Tratamiento quirúrgico. Enclavado endomedular. Complicaciones.

ABSTRACT: The technique of reamed intramedullary nailing causes two biological problems: destruction of the medullary vascular system and episodes of intramedullary pressure elevation, which causes intravasation of reaming shavings into the afferent venous system. An attempt has been made to correct these problems by using intramedullary nails without reaming.

The aim of our study was to review the literature on the unreamed technique and to analyze the experience of our department with the technique. Situations in which reaming is recommended or not recommended are defined.

KEY WORDS: Fractures. Long bones. Surgical treatment. Intramedullary nailing. Complications.

El fresado endomedular: consecuencias biológicas y mecánicas

La idea del enclavado sin fresado previo de la cavidad medular surge para prevenir la destrucción de la vascularización de la cavidad medular^{23,34,39,40,43} y el aumento de la presión intramedular^{2,18,19,50-52,54} con la consiguiente intravasación de contenido de la cavidad medular al sistema vascular óseo y desde ahí al sistémico, con todas las consecuencias que ello puede traer. La preocupación por la vascularización fue el motivo inicial, con el fin de mejorar la consolidación de la fractura al permitir un mayor aporte de sangre y, por lo tanto, de oxígeno, al foco de fractura. Por este motivo se acuñó el término de «osteosíntesis biológica» para referirse a esta técnica de enclavado sin fresado de la cavidad medular por contraposición a la osteosíntesis centrada exclusivamente en la estabilidad mecánica del foco.²⁷

En fémur y en tibia esta técnica va a competir con la de mayor indicación hasta su aparición y esa dualidad persiste hoy en día: en el fémur, frente al enclavado con fresado^{6,8,16} y en la tibia, principalmente, con los fijadores externos en el tratamiento de las fracturas abiertas.^{11,20} En el fémur la pugna continúa por una menor presurización de la medular durante la técnica sin fresado, frente a una consolidación más lenta y a una estabilidad mecánica quizás algo inferior. En la tibia la presurización durante el fresado no parece ser un problema, mientras que sí puede serlo la devascularización endomedular que suponen las técnicas de enclavado fresado aunque presenta una menor estabilidad mecánica para la carga. Pese a las series publicadas desde hace unos años persiste la reticencia, al empleo de un enclavado sin fresar como fijación de urgencia en las fracturas abiertas, tipo II y III de Gustilo-Anderson, por el riesgo de infección que supone el implante endomedular. Si bien la incidencia de infección no parece mayor con enclavado que con fijación externa, quizás una infección con un implante endomedular se percibe como más grave —sobre todo por su exten-

Correspondencia:

Dr. M. A. DÍEZ ULLOA.
Servicio de COT.
Hospital Clínico de Santiago.
Trav. Choupana, s/n
15706 Santiago de Compostela. La Coruña.

sión— que en un foco o en los clavos de un fijador externo.

El hecho de fresar una cavidad endomedular produce básicamente dos efectos: el aumento de la presión en la cavidad endomedular y la destrucción del sistema vascular endomedular. Aunque ambos suceden siempre, la hiperpresión tiene más consecuencias en el fémur y la devascularización en la tibia, por ello, se consideraron unos resultados generales y otros relacionados con la localización anatómica. Una consecuencia directa de intentar preservar la circulación endomedular es disminuir el diámetro de la sección del clavo, lo que tiene sus consecuencias biomecánicas. Se midieron incrementos en la presión intramedular durante el fresado del orden de 400 a 800 mm Hg, lo que supone un riesgo de extravasación al torrente sanguíneo pues supera con creces la tensión hidrostática del árbol vascular. Este aumento sucede ya desde el primer fresado, así como el daño a la vascularización endomedular. Cuando se abren la cortical y la metáfisis en el punto de entrada, también se produce un aumento importante (aunque mucho menor) de la presión intramedular, especialmente si se realiza por procedimientos motorizados. Asimismo, durante la inserción de un clavo sin fresar también se han medido incrementos de la presión intramedular del orden de 100 a 200 mm Hg, siendo el factor más determinante la diferencia del diámetro del implante respecto al de la medular en el fragmento distal. Este aumento no sucedió durante la inserción de un clavo tras fresar la cavidad medular. Por otra parte, se vio que el material producto del fresado que se introduce en el torrente vascular activa la cascada de la coagulación, favoreciendo teóricamente la aparición de episodios trombóticos y embolizantes de manera secundaria.

Los diseñadores de los clavos sin fresar se encontraron, evidentemente, con que deberían tener un diámetro externo inferior al diámetro endomedular, lo que obligó a crear una sección más maciza para no comprometer la estabilidad mecánica. Ello: a) impone un límite en torno a los 8 mm (para la tibia) o 9 mm (para el fémur) que garantice una mínima estabilidad mecánica del conjunto hueso-clavo y b) impide la evacuación retrógrada del contenido endomedular durante la inserción del implante. Se ha señalado, en estudios experimentales, que por la devascularización ósea pudiera facilitarse la infección bacteriana en un modelo de osteomielitis provocado. Por último, se ha comprobado que el tiempo de cirugía es menor con el enclavado no fresado.

Desde los estudios de Rhinelander³⁹ a comienzos de los setenta empiezan a realizarse estudios sobre

la vascularización de las fracturas tratadas con diversos métodos de síntesis^{3,38,39} aunque en aquellos momentos la discusión se centraba más en la estabilidad que daban al foco de fractura y la velocidad de consolidación. Se perseguía el ideal de la consolidación *per primam*, basándose en el modelo de osteotomía transversa y placa a compresión. En la revisión clásica de McKibbin²⁹ sobre la consolidación de las fracturas de los huesos largos se hablaba de la importancia de la estabilidad del foco para la formación del callo y cómo éste se originaba a partir de células procedentes de los tejidos blandos y del propio hueso, existiendo un callo perióstico y otro endostal, siendo dicho callo endostal menos exuberante si bien más independiente de la estabilidad del foco. De hecho, se hablaba de callo perióstico y callo *tardío* endomedular, otorgándole una importancia menor. Se vio que una cavidad medular fresada tarda entre dos y seis semanas como mínimo en revascularizarse.^{23,40} Entre otros, Oni y Gregg³⁴ estudian la vascularización cortical y observaron, aparte de las contribuciones del sistema perióstico (aproximadamente una tercera parte, la más periférica) y del endostal (las otras dos terceras partes, basado en las arterias nutricias),^{23,40} que un fragmento óseo puede mantener vascularización hasta cuatro semanas tras bloquear la circulación perióstica, pero sólo dos si se bloquea la arteria nutricia. En esta misma línea, Kessler y cols.²⁴ hablan de que la lesión del sistema endomedular por el fresado de los clavos no tiene repercusiones clínicas y Tarr y Wiss⁴⁶ señalan la mayor vascularización del callo en los huesos fracturados tratados con clavos fresados respecto a las placas, lo que concuerda con los trabajos de otros autores^{3,39} y ello puede explicarse por la activación de los tejidos blandos periféricos,²² incrementada por la necesidad de mayor aporte circulatorio por esta vía al dañarse el sistema endomedular por el fresado; situación vicariante ya conocida en que se invierte el flujo sanguíneo centrífugo en la cortical diafisaria hacia uno centrípeto desde las partes blandas y el periostio.

Todas estas consideraciones hacían atractiva la idea de poder tratar fracturas con las ventajas del clavo endomedular en diáfisis con pobre aportación vascular desde las partes blandas, especialmente cuando se considera al sistema de la arteria nutricia dañado por la propia fractura. Además, se había señalado que el fresado podía ser un factor más predisponente a la infección en fracturas contaminadas³⁰ y que provocaba una disminución de la densidad ósea;⁴² incluso un clavo no fresado, pero muy ajustado a la superficie endomedular alteraba significativamente la vascularización cortical.²¹ Tal efecto sobre el riesgo de

infección podría explicarse por la devascularización endomedular, pero también por una mayor liberación de IL-10 y una menor expresión del antígeno leucocitario humano DR de los monocitos, que se ha visto en pacientes con fractura de fémur tratados con clavo fresado frente a un grupo con clavo sin fresar.⁴⁴ El paradigma de esta situación de un hueso largo con escaso aporte vascular desde el periorbitario es la fractura de tibia, más aún en casos de lesión importante de partes blandas (abierta o no). Por último, debe resaltarse en estas reflexiones el problema de la imperiosa necesidad de fresar el estrecho canal medular de la tibia en un porcentaje no despreciable de casos tanto en la bibliografía⁴⁸ como en nuestra experiencia y basta fresar una vez para que todas las consecuencias del fresado aparezcan.^{33,43}

Las series clínicas en nuestro medio han apoyado los buenos resultados en el tratamiento de las fracturas de tibia con clavos no fresados,⁹ comparables en toda la literatura —si no mejores— a los de los clavos fresados con una técnica más sencilla. No se han encontrado diferencias, en cambio, en el aporte sanguíneo al callo de fractura entre clavos fresados y no fresados, como tampoco diferencias mecánicas en el callo formado, aunque se hubiese producido una franca devascularización endomedular.⁴¹ El inconveniente de no fresar es crear un conjunto hueso-clavo con menor estabilidad mecánica, aunque con mayor vascularización; si bien un régimen juicioso de carga es suficiente en nuestra experiencia. Aún es más, los resultados en fracturas abiertas son superiores a los fijadores externos.^{11,20} La táctica del Servicio ha sido hacia una progresiva sustitución del enclavado fresado por el no fresado como tratamiento primario. Sin embargo, en las lesiones abiertas la transición del fijador externo al clavo no fresado no es tan entusiasta por la gravedad de una potencial infección frente a la menor del fijador externo y porque en la práctica nos es más fácil emplear fijadores externos en la cirugía urgente. Es posible que el tiempo mejore este aspecto técnico-logístico.

El embolismo graso se considera en la actualidad un síndrome complejo, cuyo estudio en profundidad se sale de las intenciones de este trabajo. Se ha observado en varios procedimientos quirúrgicos de nuestra especialidad en que se introduce material o se genera presión dentro de la cavidad medular como son la preparación del canal femoral para un vástago de prótesis de cadera (hasta 1.000 mm Hg, mayor aún que el fresado para un clavo) o la introducción del vástago, la retirada de restos de cemento del canal femoral en cirugía de recambio, el trabajo en la meseta tibial o del fémur distal en una artroplastia de rodilla y también de otras especialidades, como es el

uso de la cavidad medular como vía de infusión de líquidos. En estas situaciones es extraordinario que se produzcan repercusiones clínicas (aun con material ecogénico en las cavidades cardíacas), pero cuando la tienen son de gravedad.

Hay multitud de trabajos experimentales que demuestran esta hipertensión durante el fresado previo a la inserción de un clavo,^{2,18,19,26,36,45,49,54} así como trabajos de medición clínica de presión o de dicha intravasación de material medular en el fémur.^{8,25,35,50,51} En general, vienen a confirmar un incremento muy importante de la presión intramedular durante el fresado, relacionada con la producción de un material embolígeno, así como también de otro, mucho menos importante, durante la inserción de un clavo no fresado. Este incremento durante el fresado depende mucho de la forma del instrumento empleado,³⁶ ya que es menor si permite el flujo retrógrado del material producido. En cambio, la creación de agujeros de evacuación en la metáfisis proximal o distal del fémur no ha mostrado su eficacia para disminuir esta hipertensión,²⁸ probablemente por su pequeño diámetro —uno mayor comprometería la estabilidad mecánica del hueso a nivel metafisario—. Asimismo, la elaboración del punto de entrada con medios motorizados también se ha definido como factor que eleva la presión intramedular.

Por el contrario, los trabajos clínicos o experimentales comparando pacientes con clavos con y sin fresado previo^{1,8,17,25,35,47,50,51} no han podido demostrar una repercusión clínica directa ni de la hipertensión ni del material embolizado, aun del detectado en los pulmones.¹ Parece ser que la embolización es una condición muy importante, pero no factor etiopatológico único. Además, se ha visto un retardo en la consolidación de las fracturas tratadas con técnica sin fresado.^{6,3,15,16} Por todo ello, aunque en su momento se definieron algunos cofactores, como la contusión pulmonar concomitante, el estado de shock, la hipovolemia o la disminución funcional respiratoria previa, en cuya presencia sí pudiera justificarse una tendencia al no fresado,⁵² en el momento actual no parece haber indicaciones claras para el enclavado sin fresar.³¹ En esta línea, en el mundo germánico se propugna la síntesis femoral con placas y tornillos para evitar cualquier incremento de presión medular,³³ argumentando contra la réplica de la menor estabilidad mecánica de ese sistema de síntesis respecto al clavo que tan sólo un 29% de los politraumatizados se benefician de una deambulación precoz.³²

Otros potenciales efectos negativos del fresado, dejando aparte la devascularización ósea y la hipertensión endomedular, son la activación de la cascada

de la coagulación por el material intravasado,^{17,52} la alteración en la respuesta inmune⁴⁴ y la osificación heterotópica en el glúteo. Esta última puede tener una incidencia de hasta el 25%⁴ y se ve disminuida en los pacientes con clavos no fresados.¹²

Dada la menor estabilidad mecánica del *enclavado* respecto al *enclavado*, empleando los conceptos de Küntscher, es preciso cerrojar siempre proximal y distalmente (doble), lo que es un factor que prolonga algo la cirugía; aunque pese a estos inconvenientes, por su facilidad técnica, acorta el tiempo de cirugía respecto a la técnica fresada y se considera especialmente apropiada en fracturas patológicas, donde se disminuye el riesgo de diseminación tumoral y proporciona estabilidad suficiente.^{7,14} Con todo, se ha descrito un caso de muerte por embolia grasa masiva durante un enclavado no fresado de fémur para una fractura patológica.³⁷

La experiencia del Servicio en un principio se inclinó hacia la técnica no fresada por sus ventajas en cuanto a preservación de la vascularización y menor agresividad a la fisiopatología respiratoria. Pero tras la observación de algunos retrasos en la consolidación y de dolor en el muslo en un porcentaje no desdenable de pacientes durante el seguimiento, el «entusiasmo» inicial se hizo algo más crítico, a pesar de no tener transcendencia clínica real en el resultado final. Se realizó un estudio sobre 44 clavos consecutivos y coincidentes en el tiempo, 19 de ellos fresados y 25 sin fresar, para estudiar el tiempo de consolidación y la separación entre fragmentos en el control radiográfico postoperatorio inmediato, sin encontrarse diferencias entre los dos grupos. Se dinamizaron algunos casos y la sintomatología mejoró, pero dadas las características mecánicas del conjunto hueso-clavo, no resulta lo mismo dinamizar un clavo fresado y otro no fresado. El menor diámetro y la holgura respecto al canal medular de los implantes no fresados convierten la dinamización, como gesto estimulante de la formación de callo óseo, en un acto desestabilizante desde el punto de vista mecánico, por lo que debe emplearse como estímulo de un callo poco desarrollado y nunca como «creador» de callo *ex novo*. De hecho, los ingenieros biomecánicos conciben la dinamización como una carga axial en un solo eje perfectamente definido y si ya en los clavos fresados tal eje se ve alterado por microcizallamientos y microrrotaciones, mucho más en el caso de una mayor holgura clavo-hueso.

Con menor frecuencia que en la tibia, pero también de manera episódica en algún paciente joven o de talla baja fue necesario fresar el canal para su introducción y ya se habrían conculado los principios del enclavado sin fresar. La disminución del diáme-

tro de la sección del clavo para posibilitar su introducción se ve limitada por la resistencia mecánica del implante, más importante en el fémur que en la tibia. Ello nos lleva al dilema de elección del grosor de un implante no fresado, dado que no se trata de que soporte carga, sino de que ferulice endomedularmente la fractura, opinamos que ante la duda debe optarse por un clavo más fino, que permita su paso y respete más la vascularización endomedular (Hupel1), además de producir una hipertensión endomedular menor al penetrar en el fragmento distal. Como un argumento más para favorecer la biología sobre la estabilización mecánica a ultranza podría citarse la serie de Neudeck y cols.,³² donde en un entorno de politraumatizados fueron pocos los que pudieron realizar una deambulación precoz, por lo que primar un clavo más grueso frente a los factores antes comentados resulta aún menos convincente. De hecho, en contra de la opinión de otros autores,⁶ se ha comprobado cómo con clavos de 10 mm, si se logra una buena aposición de los fragmentos y se emplea un plan juicioso de descarga —guiado por el dolor del paciente—, no se observan fracasos de los implantes en el fémur, y en la tibia tan sólo de los tornillos de cerrojo distal, en un porcentaje pequeño y sin repercusión clínica. Saber que es importante que el foco de fractura no quede diastasado, lo que es más fácil que suceda si no se fresó la cavidad por la fuerza que se hace al penetrar el fragmento distal.

Un aspecto más a favor de la técnica sin fresar y más aún en el contexto del paciente politraumatizado, es el hecho ya comentado de que el acto quirúrgico es más breve y supone unas pérdidas hemáticas menores. También interesante es la experiencia personal que permite corregir alineamientos más fácilmente que con la fina guía de fresado, para ello se debe retirar el clavo hasta el punto de entrada en el fragmento distal, quitar tracción y corregir la deformidad producida en la primera introducción, introducir el clavo con dos o tres golpes de martillo en hiper corrección y soltar la fuerza correctora para continuar la introducción bajo control de radioscopía comprobando que se avanza por el centro de la medular del fragmento distal. Esto se puede hacer por la holgura del clavo y la adaptabilidad de una medular que además se ha debilitado previamente por el primer pase del clavo. Principios similares explican el alto porcentaje de alineación inadecuada en fracturas muy distales observado tanto en el fémur como en la tibia con la técnica no fresada respecto a la fresada. Esta holgura distal permite el empleo de técnicas como los tornillos de Poller tanto para correcciones pequeñas en el alineamiento de la fractura como para evitar desplazamientos secundarios.

Un último apartado para la discusión sería la actuación sobre fracturas conminutas tipos IV y V de Winquist o segmentarias. El fresado del fragmento intermedio no parece ser mayor problema si mide más de 10 cm por las inserciones musculares, sobre todo en la línea áspera,⁵³ pero si está abierto y se introduce un clavo no fresado la situación biomecánica puede ser muy inestable y conducir a la rotura de los implantes (fenómeno frecuente en los cerrojos distales en la tibia y generalmente sin consecuencias) y al fracaso. Nuestra experiencia ha seguido dos líneas: a) Reducción abierta del foco y cerclaje seguido de técnica fresada, para poder introducir un clavo más grueso que estabilice mecánicamente más, o bien b) Clavo sin fresar y antes de cerrojar se sintetizan los fragmentos *ad minimam* (cerclaje o, si cabe por la holgura del clavo, tornillos), sin desperiostización alguna, para evitar el telescopaje. Se trata de lograr una situación mecánicamente estable, y, sobre todo si se emplea la segunda opción, es fundamental lograr una buena aposición de los fragmentos en el eje de carga. No es una situación frecuente, afortunadamente (5-10% en nuestra experiencia), pero sí muy problemática desde el punto de vista técnico. Con la primera solución se observó un retardo en la consolidación, generalmente del foco entre el fragmento medio y el distal con cierta sintomatología dolorosa, mientras que con la segunda se observó un callo perióstico hipertrófico englobando todo el fragmento intermedio con una reacción similar al «fuego de hierbas» en su periferia con molestias a la flexión de la rodilla. De nuevo, a largo plazo todos los pacientes obtuvieron unos resultados buenos, entendidos en cuanto a consolidación, movilidad y dolor, siendo necesario dinamizar uno de los clavos fresados. No se observaron fracasos de implantes ni telescopajes de la fractura en ningún caso. Todas las técnicas de reducción abierta deben intentar minimizarse para evitar todas sus conocidas complicaciones, pero debe evitarse a toda costa que haya terceros fragmentos muy desplazados o volteados respecto al eje femoral, pretendiendo una estabilidad mecánica suficiente del foco.

En nuestra práctica, el enclavado sin fresar casi ha desplazado al fresado en la tibia como tratamiento primario de las fracturas y también en cierta medida en el fémur, sobre todo en fracturas patológicas, politraumatizados o fracturas en las que pueda lograrse buena coaptación de los fragmentos. No obstante, en esta última localización las ventajas clínicas, aun con unos resultados globales muy satisfactorios como en otras series,¹⁰ no parecen tan definitorias ni mucho menos como para abandonar las técnicas fresadas, especialmente en fracturas mecánicamente inestables o segmentarias.

El enclavado intramedular sin fresar en el fémur

En el fémur priman los efectos de la hiperpresión medular, pues en la región metafisaria distal del fémur existe un abundante plexo venoso y en la metáfisis tibial distal no existe un plexo venoso tan exuberante. A pesar de que se ha detectado una mayor presencia de émbolos grasos en estudios experimentales y una correlación entre aumento de presión intramedular y fenómenos embólicos, la técnica sin fresado no elimina el riesgo de estos últimos. En el mismo sentido, no se ha demostrado fehacientemente que el fresado intramedular tenga *per se* un efecto directo sobre la función pulmonar en ausencia de factores predisponentes. En otro orden, se ha visto que ese material de fresado podría aumentar la incidencia de osificaciones heterotópicas en los glúteos.

Por lo que respecta a la devascularización ósea por la destrucción del aporte endomedular, paradójicamente lo que se ha observado en las series clínicas es una consolidación más lenta respecto a las fracturas enclavadas con técnica de fresado. No obstante, en series de fracturas patológicas esta situación tiene una importancia secundaria respecto a la consideración de facilidad y rapidez técnica, así como de un menor sangrado del paciente. Se ha observado una incidencia mucho mayor de alineaciones poco adecuadas de la fractura con la técnica no fresada cuando dicha fractura se situaba en la porción distal del fémur.

Finalmente, la experiencia obtenida mostró una aceptación y utilización progresiva de la técnica sin fresado (tabla 1 y Fig. 1).

El enclavado intramedular sin fresar en la tibia

En la tibia lo primordial son las consecuencias de la devascularización por destrucción del sistema endomedular. La principal confrontación en estas fracturas se ha hecho con el fijador externo en las lesio-

Tabla 1. Evolución del fresado endomedular en la técnica de enclavado en nuestro Servicio

Año	1995	1996	1997	1998	1999	2000*
Fémur						
Sin	8	15	23	34	27	21
Con	18	14	13	15	5	4
Tibia						
Sin	0	7	5	14	5	9
Con	3	9	7	2	1	0

*El año 2000 se estudió hasta el 12 de octubre.

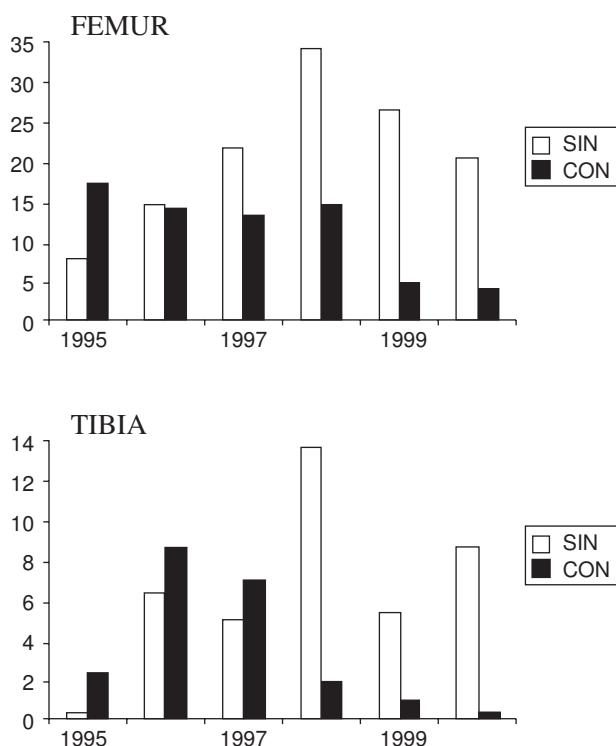


Figura 1. Evolución en el Servicio de las técnicas de enclavado fresado y sin fresar.

nes abiertas, donde se observó una consolidación más rápida, con unas mayores posibilidades de actuación secundaria sobre las partes blandas y una

mejor alineación de la fractura. Se han visto ventajas en cuanto al alineamiento de la fractura, si el cerrojo distal se realiza en dos planos. No se han visto efectos con el fresado de aumento de presión endomedular, embolización de material medular o repercusión en la función respiratoria.

Respecto al diseño, por su menor diámetro respecto al clavo fresado, presentó la desventaja mecánica de retrasar la carga del paciente, una mayor incidencia de roturas del clavo (si es de 8 mm, no si es de 9 mm) y de los bloqueos. Por el contrario, se han señalado ventajas en la facilidad técnica y el respeto a la vascularización de los fragmentos.

En nuestro Servicio se ha ido sustituyendo progresivamente la técnica fresada por la no fresada en casos de cirugía de primera intención. En los casos de fractura abierta se siguió escogiendo muchas veces el fijador externo como cirugía de urgencia, aunque en tipos I y II de Gustilo en ocasiones se optó por un desbridamiento inicial y ferulización para realizar el enclavado secundario no fresado en unos días.

Agradecimientos

A D. Juan Fernández Aldariz, por la ayuda en la recopilación de los datos.

A los Dres. Mandía Mancebo y Pino Míguez, por la discusión sobre algunos aspectos técnicos.

Bibliografía

1. Aoki, N; Soma, K; Shindo, M; Kurosawa, T, y Ohwada, T: Evaluation of potential fat emboli during placement of intramedullary nails after orthopaedic fractures. *Chest*, 113: 178-181, 1998.
2. Barre, J; Lepouse, C, y Segal, P: Embolies et chirurgie femorale intra-médullaire. *Rev Chir Reparatrice Appar Mot*, 83: 9-21, 1997
3. Barron, SE; Robb, RA; Taylor, WF, y Kelly, PJ: The effect of fixation with intramedullary rods and plates on fracture-site blood flow and bone remodeling in dogs. *J Bone Joint Surg*, 59-A: 376-385, 1977.
4. Brumback, RJ; Wells, D; Lakatos, R; Poka, A; Bathon, GH y Burgess, AR: Heterotopic ossification about the hip after intramedullary nailing for fractures of the femur. *J Bone Joint Surg*, 72-A: 1067-1072, 1990.
5. Brumback, RJ: The rationales of interlocking nailing of the femur, tibia and humerus. An overview. *Clin Orthop*, 324: 292-320, 1996.
6. Clatworthy, MG; Clark, DI; Gray, DH, y Hardy, AE: Reamed vs. unreamed femoral nails. A randomised, prospective trial. *J Bone Joint Surg*, 80-B: 485-489, 1998.
7. Cole, AS; Hill, GA; Theologis, TN; Gibbons, CL, y Willett, K: Femoral nailing for metastatic disease of the femur. A comparison of reamed and unreamed nailing. *Injury*, 31: 25-31, 2000.
8. Coles, RE; Clements, FM; Lardenoye, JW; Wermeskerken, GV; Hey, LA; Nunley, JA; Levin, LS, y Pearsall IV, AW: Transesophageal echocardiography in quantification of emboli during femoral nailing. Reamed vs unreamed techniques. *J South Orthop Assoc*, 9: 98-104, 2000.
9. De Santos de la Fuente, FJ; López Arévalo, R; Mateo Rodríguez, JM; Pacheco Pacheco, F, y Fernández Medina, JM: Fracturas de la diáfisis tibial. Enclavado rígido de alineación sin fresado. *Rev Ortop Traumatol*, 41 (Supl 1): S35-S40, 1997.
10. De Santos de la Fuente, FJ; López Arévalo, R; Queipo de Llano Temboury, A; Luna González, F, y Queipo de Llano Jiménez, E: Enclavado intramedular sin fresado en fracturas del fémur. Experiencia clínica inicial con el sistema UFN. *Rev Ortop Traumatol*, 41 (Supl 1): S9-S15, 1997.
11. Dervin GF: Skeletal fixation of grade IIIB tibia fractures. The potential of metaanalysis. *Clin Orthop* 332: 10-15, 1996.
12. Furlong, AJ; Giannoudis, PV, y Smith, RM: Heterotopic ossification. A comparison between reamed and unreamed femoral nailing. *Injury*, 28: 9-14, 1997.
13. Giannoudis, PV; Furlong, AJ; Macdonald, DA, y Smith, RM: Reamed against unreamed nailing of the femoral diaphysis. A retrospective study of healing time. *Injury*, 28: 15-18, 1997.

14. Giannoudis, PV; Bastawrous, SS; Bunola, JA; Macdonald, DA, y Smith, RM: Unreamed nailing for pathological femoral fractures. *Acta Orthop Scand*, 70: 29-32, 1999.
15. Haddad, FS; Desai, K; Sarkar, JS, y Dorrell, JH: The AO unreamed nail. Friend or foe. *Injury*, 27: 261-263, 1996.
16. Hammacher, ER; Van Meeteren, MC, y Van der Werken, C: Improved results in treatment of femoral shaft fractures with the unreamed femoral nail? A multicenter experience. *J Trauma*, 45: 517-521, 1998.
17. Heim, D; Regazzoni, P; Tsakiris, DA; Aebi, T; Schlegel, U; Marbet, GA, y Perren, SM: Intramedullary nailing and pulmonary embolism. Does unreamed nailing prevent embolization? An in vivo study in rabbits. *J Trauma*, 38: 899-906, 1995.
18. Heim, D; Schlegel, U, y Perren, SM: Intramedullary pressure inreamed and unreamed nailing of the femur and tibia. An in vitro study in intact human bones. *Injury*, 24 (Supl 3): S56-S63, 1993.
19. Heim, D; Schlegel, U, y Perren, SM: Das intramedullare Druckverhalten bei Marknagelung an Femur und Tibia. *Helv Chir Acta*, 60: 605-610, 1994.
20. Henley, MB; Chapman, JR; Agel, J; Harvey, EJ; Whorton, AM, y Swiontkowski, MF: Treatment of type II, IIIA, and IIIB open fractures of the tibial shaft. A prospective comparison of unreamed interlocking intramedullary nails and half-pin external fixators. *J Orthop Trauma*, 12: 1-7, 1998.
21. Hupel, TM; Aksenow, SA, y Schemitsch, EH: Cortical bone blood flow in loose and tight fitting locked unreamed intramedullary nailing. A canine segmental tibial fracture model. *J Orthop Trauma*, 12: 127-135, 1998.
22. Hupel, TM; Aksenow, SA, y Schemitsch, EH: Muscle perfusion after intramedullary nailing of the canine tibia. *J Trauma*, 45: 256-262, 1998.
23. Johnson, KD: Femoral fractures. En: Browner, BD; Jupiter, JB; Levine, AM y Trafton, PG (Eds): *Skeletal trauma: fractures, dislocations and ligamentous injuries*. Filadelfia: Saunders, 1525-1643, 1992.
24. Kessler, SB; Hallfeldt, KKJ; Perren, SM, y Schweiberer, L: The effects of reaming and intramedullary nailing on fracture healing. *Clin Orthop*, 212: 18-25, 1986.
25. Kropf, A; Berger, U; Neuriter, H; Hertz, H, y Schlag, G: Intramedullary pressure and bone marrow fat intravasation in unreamed femoral nailing. *J Trauma*, 42: 946-954, 1997.
26. Kropf, A; Davies, J; Berger, U; Hertz, H, y Schlag, G: Intramedullary pressure and bone marrow fat extravasation in reamed and unreamed femoral nailing. *J Orthop Res*, 17: 261-268, 1999.
27. Latta, LL, y Zych, GA: The mechanics of fracture fixation. Part II. *Current Orthopaedics*, 5: 92-98, 1991.
28. Martin, R; Leughton, RK; Petrie, D; Ikejani, C, y Smyth, B: Effect of proximal and distal venting during intramedullary nailing. *Clin Orthop*, 332: 80-89, 1996.
29. McKibbin, B: The biology of fracture healing in long bones. *J Bone Joint Surg*, 60-B: 150-161, 1978.
30. Melcher, GA; Metzdorf, A; Schlegel, U; Ziegler, WJ, Perren, SM, y Printzen, G: Influence of reaming vs. nonreaming in intramedullary nailing on local infection rate. Experimental investigation in rabbits. *J Trauma*, 39: 1123-1127, 1995.
31. Moed, BR: Femur: trauma. En: Beaty, JH: *Orthopaedic Knowledge Update 6*. Chicago: American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1999, 493-502.
32. Neudeck, F; Aufmkolk, M; Vogenreiter, G; Olivier, LC; Majetschak, M, y Obertacke, U: Wieviel schwermehrfachverletzte Patienten können den biomechanischen Vorteil der Frühbelastbarkeit nach Femurmarknagelung nutzen? *Unfallchirurgie*, 101: 769-774, 1998.
33. Neudeck, F; Wozasek, GE; Obertacke, U; Thurnher, M, y Schlag, G: Nailing vs. plating in thoracic trauma. An experimental study in sheep. *J Trauma*, 40: 980-984, 1996.
34. Oni, OAO, y Gregg, PJ: The relative contribution of individual osseous circulations to diaphyseal cortical blood supply. *J Orthop Trauma*, 4: 441-448, 1990.
35. Pape, HC; Regel, G; Dwenger, A; Krumm, K; Schweitzer, G; Kreteek, C; Sturm, JA, y Tscherne, H: Influence of different methods of intramedullary femoral nailing on lung function in patients with multiple trauma. *J Trauma*, 35: 709-716, 1993.
36. Peter, RE; Selz, T, y Koestli, A: Influence of the reamer shape on intraosseous pressure during closed intramedullary nailing of the unbroken femur. A preliminary report. *Injury*, 24(Supl 3): S48-S55.
37. Peter, RE; Schopfer, A; Le Coultré, B, y Hoffmeyer, P: Fat embolism and death during prophylactic osteosynthesis of a metastatic femur using an unreamed femoral nail. *J Orthop Trauma*, 11: 233-234, 1997.
38. Rand, JA; An, KN; Chao, EYS, y Kelly, PJ: A comparison of the effect of open intramedullary nailing and compression-plate fixation on fracture-site blood flow and fracture union. *J Bone Joint Surg*, 63-A: 427-440, 1981.
39. Rhinelander, FW: The normal microcirculation of diaphyseal cortex and its response to fracture. *J Bone Joint Surg* 50-A: 784-800, 1968.
40. Sanders, WE, y Russell, RC: Bone and soft tissue reconstruction. En: Rockwood ChA, Green DP, Bucholz RW, eds. *Fractures in adults*. 3.^a ed. Filadelfia: Lippincott, 265-333, 1991.
41. Schemitsch, EH; Kowalski, MJ; Swiontkowski, MF, y Harrington, RM: Comparison of the effect of reamed and unreamed locked intramedullary nailing on blood flow in the callus and strength of union following fracture of the sheep tibia. *J Orthop Res*, 13: 382-389, 1995.
42. Schemitsch, EH; Turchin, DC; Kowalski, MJ, y Swiontkowski, MF: Quantitative assessment of bone injury and repair after reamed and unreamed locked intramedullary nailing. *J Trauma*, 45: 250-255, 1998.
43. Schmeling, GJ; McCallum, S, y Havey, R: The effect of single-pass reaming on tibial nail insertion load and stress. *J Orthop Trauma*, 10: 569-574, 1996.
44. Smith, RM; Giannoudis, PV; Bellamy, MC; Perry, SL; Dickson, RA, y Guillou, PJ: Interleukin-10 release and monocyte human leukocyte antigen-DR expression during femoral nailing. *Clin Orthop*, 373: 233-240, 2000.
45. Sturmer, KM: Measurement of intramedullary pressure in an animal experiment and propositions to reduce the pressure increase. *Injury*, 24 (Supl 3): S7-S21.

46. **Tarr, RR, y Wiss, DA:** The mechanics and biology of intramedullary fracture fixation. *Clin Orthop*, 212: 10-17, 1986.
47. **Tornetta III, P, y Tiburzi, D:** The treatment of femoral shaft fractures using intramedullary interlocked nails with and without intramedullary reaming. A preliminary report. *J Orthop Trauma*, 11: 89-92, 1997.
48. **Uhlén, B, y Hammer, R:** Attempts unreamed nailing in tibial fractures. A prospective consecutive series of 55 patients. *Acta Orthop Scand*, 69: 301-305, 1998.
49. **Wehner, W; Morgenstern C, y Zeumer, G:** Das Verhalten des intramedullaren Drucks bei Markbohrung und-nagelung. *Zentralbl Chir*, 91: 209-215, 1966.
50. **Wenda, K; Henrichs, KJ; Biegler, M, y Erbel, R:** Detection of bone marrow embolism in femoral intramedullary nailing using transesophageal echocardiography. *Unfallchirurgie*, 15: 73-76, 1989.
51. **Wenda, K; Runkel, M; Degreif, J, y Ritter, G:** Pathogenesis and clinical relevance of bone marrow embolism in medullary nailing demonstrated by intraoperative echocardiography. *Injury*, 24 (Supl 3): S73-S81, 1993.
52. **Wenda, K, y Runkel, M:** Systemische Komplikationen der Marknagelung. *Orthopade*, 25: 292-299, 1996.
53. **Winquist, RA; Hansen, ST, y Clawson, K:** Closed intramedullary nailing of femoral fractures. *J Bone Joint Surg*, 66-A: 529-539, 1984.
54. **Wozasek, GE; Simon, P; Redl, H, y Schlag, G:** Intramedullary pressure changes and fat intravasation during intramedullary nailing: an experimental study in sheep. *J Trauma*, 36: 202-207, 1994.