

Comparación de elevaciones térmicas óseas durante la colocación de nuevos diseños de clavos y agujas: *performance* de fijación al hueso

J. PISTANI, A. MONTORO, L. ONTIVEROS MONTORO, C. DI TOLLO, C. VERO, S. FERRARI y H. MISCIONE

Hospital Nacional de Pediatría "Prof. Dr. Juan P. Garrahan", Buenos Aires.

La fijación esquelética externa es un método terapéutico que, en la actualidad, se emplea para el manejo quirúrgico de una amplia variedad de patologías ortopédicas y traumatológicas. Todos los dispositivos utilizados, cualquiera sea su conformación, tienen en común el uso de clavos y agujas. A través de ellos, se logra su fijación al hueso, por lo que es fundamental que permanezcan estables durante el tiempo que dure su función, posibilitando, de esta manera, que sólo los movimientos previstos sean los que se trasladen al hueso.

Los clavos que se utilizan en fijadores externos son extremadamente variados y podríamos diferenciarlos, en principio, por su diámetro. Por ejemplo, la diferencia entre alambres de Kirschner y clavos de Steinman estriba en su diámetro: el primero llega a los 2,5 mm y el segundo nace en los 3 mm. Esto podría significar que cuando un clavo de Steinman mide menos de 3 mm, pasa a llamarse alambre de Kirschner."

Salvo las agujas utilizadas en el método de Ilizarov, de 1,5; 1,8 y 2,0 mm de diámetro, de punta trocar para hueso esponjoso y de punta bayoneta para cortical, casi todos los demás se utilizan roscados.

En cuanto a la disposición de la rosca, éstos pueden ser total o parcialmente roscados. En los parcialmente roscados, ésta se puede hallar en uno de sus extremos o en la parte media. Si está en la parte media, su filete debe sobresalir del diámetro del clavo, pues de lo contrario, no habría posibilidad de que se fije la rosca al hueso, toda vez que el diámetro del orificio realizado por la parte del clavo sin rosca, sería igual al diámetro externo de ésta.

Una rosca es un corte en espiral realizado en una vara o varilla, que deja labrado un filete, por el cual la rosca de un tornillo puede ser considerada como un plano inclinado arrollado en espiral.

Por cada vuelta de tornillo, se avanza la misma distancia. Esto pretende reducir los esfuerzos, prolongando el movimiento de las piezas, con la ventaja de que la distancia a la que es movida o elevada la carga, es pequeña, en relación con la distancia a la que se mueve el esfuerzo. Las fuerzas paralelas al eje de la hélice engendran rozamientos tan grandes, que los elementos no pueden desenroscarse por sí mismos.

Estado actual del conocimiento sobre el tema

En la actualidad, los clavos empleados poseen diferentes formas, puntas, roscas,^{1,2,6,12,14,15,21,28} etcétera. La creencia general es que los clavos que posean una mayor interferencia (diferencia entre el diámetro mayor y menor de la porción roscada) serán los que soporten mejor las fuerzas de extracción.¹² No obstante, el autor y colaboradores evaluaron intensivamente, durante tres años, seis diferentes diseños de clavos y no observaron que diferencias significativas en lo que a la fijación al hueso se refiere.²⁴

Observaron que, a diferencia de lo que ocurre con clavos o agujas colocados en el hueso y sujetos a tensiones, los clavos no sometidos a carga alguna no sólo no disminuyen su fijación, sino que tampoco la aumentan luego de 2 meses de su colocación.²⁴

Los clavos cónicos preconizados en la actualidad por grupos de investigadores de diferentes empresas poseen indiscutiblemente una enorme resistencia a la extracción axial en el sentido en que son colocados, debido a que va aumentando su diámetro.

También se reconoce que los tornillos utilizados en hueso cortical para la fijación de placas producen, en general, durante su permanencia, un grado de osteólisis francamente menor que los clavos roscados de los fijadores externos. Esto se debe a que se distribuyen las tensiones no sólo en la interfaz hueso-clavo, sino también en una superficie mucho mayor, pues a ella se suman la cabeza del tornillo y la placa. De este modo, al aumentar la superficie de sujeción sobre el hueso se reparten las tensiones entre la interfaz hueso-tornillo y la interfaz hueso-placa. En estos casos, la misión principal del tornillo es mantener presionada la placa al hueso y, para ello, están diseñados (rosca tipo Danis).¹¹

Recibido el 11-10-2000. Aceptado luego de la evaluación el 11-12-2000.

Correspondencia:

Dr. H. MISCIONE
Páez 1984
(1406) Capital Federal
Argentina
Tel.: 4632-2284

Se reconoce, además, que una elevación térmica ósea durante la perforación y colocación de implantes, más allá de los 50°C, produce cambios irreversibles en el hueso^{4-6,8-10,11,17-20,25,26}

Hasta hace poco, no existían protocolos de perforación que permitieran reconocer cuál es el método ideal para lograr la mínima elevación térmica posible.

Hemos comprobado que, con el uso de agujas (de hasta 2 mm de diámetro), la mayor fuerza de ataque y el tipo de punta fueron los factores más importantes y que, cuando se respetan estas premisas, el número de revoluciones pierde significado. A pesar de ello, las 2000 revoluciones fueron las que provocaron menor elevación térmica.^{7,19,20}

Con respecto a los clavos (3 y 6 mm de diámetro), se repitieron estas premisas, pero la velocidad ideal fue francamente menor, además, se estableció que, en estos, la preperforación es un método útil para disminuir la elevación térmica.^{7,19}

Entre las variables que influyen en dicha elevación térmica, se destaca el diseño de la punta de los elementos de perforación. Hemos comprobado que las puntas Hoffman y las de mechas son las que generan menor aumento térmico óseo.⁷

Es de destacar la importancia que juega la conservación de la circulación sanguínea subperióstica y endomedular en la disminución de la elevación térmica ósea y, por lo tanto, la contraindicación del empleo de técnicas que actúen en su detrimento.²⁷

Nuestros trabajos en este tema se realizaron utilizando como modelo experimental especímenes óseos de caninos (*Canis familiaris*) y, si bien los resultados comparados con los obtenidos con hueso humano confirmaron las bondades de la metodología empleada para la perforación, las elevaciones térmicas fueron francamente menores. Indudablemente, una de las causas es el menor espesor de la cortical ósea en el perro. Por ello, creemos que el cambio de modelo experimental hacia especímenes de un animal como el ovino, con cortical ósea mayor, más cerca en espesor a la del humano, mejorará la *performance* de los estudios.

Objetivos e hipótesis de la investigación

Objetivos

- Comparar la elevación térmica que se produce durante la perforación de hueso canino⁷ y humano" con la de las tibias ovinas, empleando los tipos de puntas de clavos y agujas más comúnmente utilizados hasta el presente.
- Establecer el hueso ovino como modelo experimental animal.
- Establecer la influencia de los nuevos diseños de clavos (puntas, roscas, etc.) sobre la elevación térmica ósea durante la perforación.

- Comparar el efecto del uso de los nuevos diseños de puntas de agujas (Hoffmann y mecha), con el provocado por las utilizadas tradicionalmente en traumatología.
- Relacionar la elevación térmica ósea con la *performance* clínica de los nuevos diseños de clavos y agujas en fijación externa.
- Relacionar el diseño de las roscas de los 4 nuevos modelos de clavos, con la fuerza necesaria para su extracción axial, en forma inmediata y luego de 56 días de colocación.

Hipótesis

- Los parámetros que rigen la elevación térmica durante la perforación de hueso ovino, canino y humano con materiales y metodologías similares, son comparables.
- Las puntas de clavos y agujas de nuevo diseño generan menor aumento térmico óseo que las utilizadas tradicionalmente.
- Una mayor fuerza impresa al elemento perforante disminuye, en todos los casos, la elevación térmica ósea.
- Menor elevación térmica ósea durante la perforación implica menor osteólisis y, por lo tanto, mayor *performance* en su agarre al hueso.
- Los 4 tipos de clavos de nuevo diseño colocados bajo las pautas preconizadas tienen diferente *performance* de fijación al hueso, tanto en las extracciones inmediatas (24 h) como en las mediatas (56 días), íntimamente relacionadas con el diseño de su rosca.

Materiales y método

Animales y especímenes

Animales: Se empleó como animal de experimentación al ovino. Para las experiencias en animales vivos, se respetaron las normas del National Research Council.

Especímenes: Tibias de ovinos que se extrajeron de animales recientemente sacrificados, a las que se quitaron los tejidos blandos y fueron almacenadas en bolsas plásticas a -20°C. En el momento de ser utilizadas, se llevaron a temperatura ambiente en solución fisiológica.^{7,19,24}

Se trabajó en hueso ovino, porque habíamos comprobado antes que éste poseía características favorables:

- Su diámetro es más adecuado para el empleo de clavos de 6 mm que el hueso canino (que habíamos utilizado antes), pues este último tiene muchas variaciones en cuanto a diámetro y calidad, de acuerdo con la raza, edad y tamaño del animal.
- Es posible obtener lotes de animales parejos en cuanto a edad, tamaño, peso, tipo de alimentación administrada, sexo, etc.
- Es más fácil su manejo con respecto a otras especies.
- La mayoría de los estudios similares publicados por otros autores fueron realizados en animales de esta especie.

Los ovinos empleados fueron hembras, cruce, de una edad aproximada de 2 años (de 2 a 4 dientes) y 50 kg de peso, todos de

un mismo rodeo, provenientes de un mismo establecimiento de la Provincia de Buenos Aires y alimentados con pastura natural. Los animales fueron mantenidos durante las experiencias en amplios potreros con alimentación similar, suplementada con fardos y agua *ad libitum*, y se los estabulaba durante la noche.

Todos los animales fueron controlados antes del estudio con los perfiles de laboratorio pertinentes (hemograma, bioquímica sanguínea, parasitológicos, etc.). Se descartó la presencia de *Brucella* mediante la técnica de BPA (*Brucella abortus*, *B. melitensis* y *B. suis*). Se administraron 2 dosis de ivermectina, con 15 días de diferencia, y se los inmunizó contra clostridios.

Por razones similares a las ya citadas, las tibias fueron utilizadas como hueso tipo. Invariablemente, tanto en animales vivos como en especímenes, el ingreso de los clavos se realizó por su cara anteromedial, ya que:

- Su superficie es plana, sobre todo a nivel de sus dos tercios proximales, por lo que facilita las maniobras de colocación y luego de extracción.
- El único tejido que se interpone con el exterior es la piel.
- En el animal vivo, quedan en la cara anteromedial de los miembros posteriores reparados de traumatismos con elementos externos.

Clavos y agujas

Material

Acero inoxidable AISI 316 L con certificación de origen (procedencia: Suecia, empresa SANDVIK, importado por FAMIQ SRL [Av. San Martín 4723, Capital Federal]).

Dicho material fue remitido a los laboratorios del Grupo ABS/Corp (Monte 6048, Capital Federal), cuyo relevamiento es realizado por el Consejo Profesional de Química, a fin de ser sometido a ensayos químicos de espectrometría por emisión por plasma infrarrojo (O.T. 99-3751 №S:E: 5424-1). El resultado, ampliamente satisfactorio, fue el siguiente:

Carbono total (C)	g&g	0,031
Silicio (Si)	g&g	0,586
Manganeso (Mn)	g&g	0,960
Cromo (Cr)	g&g	17,780
Níquel (Ni)	g&g	13,220

Diseño

Agujas tipo Ilizarov de 1,5 y 1,8 mm de diámetro, 30 cm de longitud y puntas tipo Hoffmann y mecha.

Clavos roscados cilíndricos autoperforantes con puntas tipo Hoffmann y mecha de 3, 4,5 y 6 mm de diámetro externo. Longitud total de los clavos: 140 mm. Longitud de la rosca: 5,5 mm (Fig.).

Clavos roscados cilíndricos autoperforantes y autorroscantes con punta mecha y dos surcos de descarga de esquirlas óseas (tipo macho rascador), de 6 mm de diámetro de rosca. Rosca tipo Danis de 1 mm de profundidad (diferencia entre el diámetro externo del filete y el alma del tornillo), con el perfil a 90° dirigido hacia la punta del clavo y un paso de 2 mm. Longitud total del clavo: 140 mm. Longitud de la rosca: 5,5 mm.

Clavos roscados cilíndricos autoperforantes y autorroscantes con punta mecha y dos surcos de descarga de esquirlas óseas (tipo macho rascador), de 6 mm de diámetro de rosca. Rosca tipo Danis de 1 mm de profundidad, con el perfil a 90° dirigido en sentido inverso al anterior y un paso de 2 mm. Longitud total del clavo: 140 mm. Longitud de la rosca: 5,5 mm.

Roscados cónicos, autoperforantes, con punta tipo mecha y dos surcos de descarga de esquirlas óseas, 5 mm de diámetro en la parte inicial de la rosca y 6 mm de diámetro en su parte final. Rosca tipo Danis de 1,0 mm de profundidad (diferencia entre el diámetro externo del filete y el alma del tornillo), con el perfil a 90° dirigido hacia el diámetro mayor del clavo y un paso de 2 mm. Longitud total del clavo: 140 mm. Longitud de la rosca: 5,5 mm.

Roscados cónicos, autorroscantes, con punta roma y dos surcos de descarga de esquirlas óseas (tipo macho rascador), 5 mm de diámetro en la parte inicial de la rosca y 6 mm de diámetro en su parte final. Rosca tipo Danis de 1 mm de profundidad, con el perfil a 90° dirigido hacia el diámetro mayor del clavo y un paso de 2 mm. Longitud total del clavo: 140 mm. Longitud de la rosca: 5,5 mm.

Roscados cónicos, autoperforantes, con punta tipo mecha y dos surcos de descarga de esquirlas óseas, 5 mm de diámetro en la parte inicial de la rosca y 6 mm de diámetro en su parte final. Rosca hoja de sierra, tipo esponjosa, de 0,5 mm de profundidad (diferencia entre el diámetro externo del filete y el alma del tornillo), con el perfil a 90° dirigido hacia el diámetro mayor del clavo y un paso de 3 mm. Longitud total del clavo: 140 mm. Longitud de la rosca: 5,5 mm.

Roscados cónicos, autorroscantes, con punta roma y dos surcos de descarga de esquirlas óseas (tipo macho rascador), 5 mm de diámetro en la parte inicial de la rosca y 6 mm de diámetro en su parte final. Rosca hoja de sierra, tipo esponjosa, de 0,5 mm de profundidad (diferencia entre el diámetro externo del filete y el alma del tornillo), con el perfil a 90° dirigido hacia el diámetro mayor del clavo y un paso de 3 mm. Longitud total del clavo: 140 mm. Longitud de la rosca: 5,5 mm.

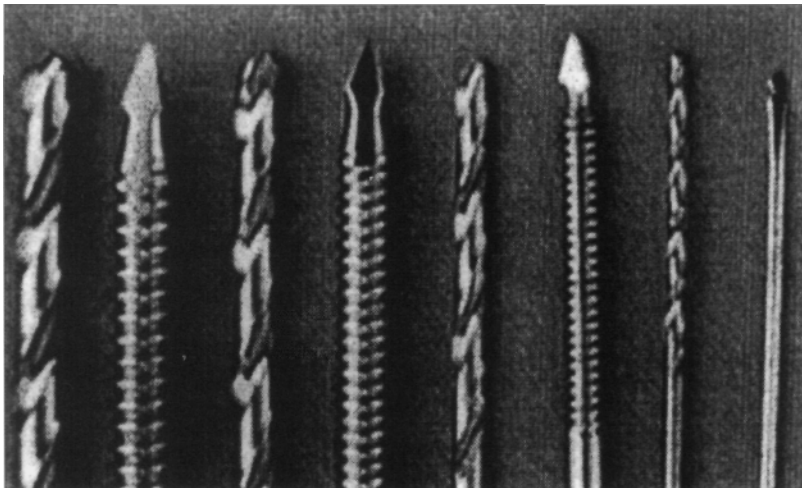


Figura. Clavos roscados cilíndricos autoperforantes.

Aparatos

- Termómetro infrarrojo Land Cyclops 330 S (provisto por la empresa Orthofix).
- Máquina universal marca Shimadzu de 1000 Kn (INTI).
- Tacómetro portátil de lectura digital modelo LUTRON DT-2234.
- Celda de carga para 50 kgf conectada a un detector digital remoto.

Tecnología para el estudio

Fue dividido en dos fases bien diferenciadas.

En la primera, se evaluó: a) el aumento de temperatura producido en el hueso durante la perforación de la primera cortical con las nuevas puntas de clavos y agujas, y su comparación con la producida por los probados con anterioridad, y b) el aumento de temperatura y el daño óseo en ambas corticales cuando se perforaba la segunda cortical.

En la segunda fase, se estudió, en hueso cortical, la influencia de los nuevos diseños de puntas y roscas en su estabilidad al ser sometidos a la presión axial en sentido contrario al de su ingreso; no sólo en forma inmediata al ser colocados, sino también luego de 56 días, objetivando el resultado de la reacción del organismo hacia los diferentes modelos de clavos, comparándolos con los resultados logrados en trabajos anteriores con otros 7 modelos de clavos roscados.

De esta sencilla manera, presumir la viabilidad de su utilización en casos clínicos. Al igual que en un trabajo anterior, para las comprobaciones de la primera fase, se midieron los siguientes parámetros: fuerza aplicada, revoluciones por minuto (rpm) y temperatura.

La fuerza aplicada se midió por medio de una celda de carga para 50 kgf conectada a un detector digital remoto que permite registrar las fuerzas aplicadas en kg (1 kgf = 9,8 N; 1 N = m·kg·s⁻²). Esta recibe la presión por medio de una plataforma de acrílico sobre la cual se apoya el espécimen (tibia de ovino). Para las perforaciones, empleamos un taladro Black & Decker modelo BD 154R de 570 vatios.

Las revoluciones por minuto del taladro y, por lo tanto, de los elementos perforantes, se determinaron con un tacómetro portátil de lectura digital modelo LUTRON DT-2234, que permite medir entre 5 y 100.000 rpm desde una distancia que puede variar entre 5 y 15 cm. Consta de un sistema de detección por reflexión, que registra las rpm al apuntar a una cinta reflectante ubicada en el mandril del taladro.

La temperatura se midió con el método que resultó más fácil en un estudio anterior: un pirómetro infrarrojo Land Cyclops 330S, que posee un sistema óptico que permite medir la temperatura de todo el espesor de las corticales a través de un corte transversal del hueso, a una distancia de 0,5 mm en paralelo a la perforación. Este termómetro trabaja en un rango de temperatura de -50°C a 600°C. El diámetro mínimo del área enfocada es de 2 mm, con la enorme facilidad de poder medir desde una distancia de 17 cm.

Para la segunda fase, como dispositivos de medición de fuerzas de extracción axial del clavo, en el sentido contrario al de su colocación o a la configuración de su rosca, se utilizó el que más exactitud había demostrado de los dos utilizados en la experiencia anterior: prensa hidráulica Shimadzu de 1000 KN de capacidad, trabajando a una velocidad de 10 mm/min, que pertenece al Departamento de Mecánica del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Posteriormente, se evaluó lo ocurrido en animales vivos después de 56 días de colocación. Para ello se emplearon ovinos adultos jóvenes a los que se les colocaron los diferentes modelos de clavos, bajo anestesia general y normas quirúrgicas asépticas. Los animales permanecieron estabulados por 56 días, cuando se realizó la medición de la fuerza requerida para la extracción de los clavos.

En un estudio posterior, se probarán los nuevos clavos en casos clínicos en el Servicio de Cirugía del Hospital Escuela de Medicina Veterinaria y se realizará un estudio comparativo con respecto al resultado del uso de los elementos utilizados en este trabajo con los siguientes clavos evaluados en estudios anteriores por extracción axial y por la fuerza de torque necesaria para su aflojamiento.

- Clavos Orthofix:
 - De esponjosa (6 mm)
 - De cortical: - cónico (6 mm)
 - autoperforante (6 mm)
- Clavos Zimmer cortical (6 mm)
- Clavos Synthes (AO) cortical (6 mm)
- Clavos Apex cortical (5 mm)
- Clavos Fico cortical (perfil simétrico) (6 mm)

Metodología experimental y resultados

Como método estadístico, se utilizó análisis de varianza y un estudio comparativo mediante prueba *t* de Student. El estudio continuó con las siguientes etapas.

Etapas 1: Mediciones de elevaciones térmicas óseas en la primera cortical durante la colocación de clavos y agujas con puntas tipo Hoffmann y tipo mecha

Descongelado de los especímenes a temperatura ambiente en solución fisiológica.

Concluidos el diseño, la normalización de materiales y la construcción de los nuevos clavos y agujas propuestos por los autores, se prosiguió con su colocación en los especímenes, para determinar, en los autoperforantes, la elevación térmica durante las diferentes variables de perforación.

A tal fin, al igual que en estudios anteriores, se realizaron osteotomías en tibias extraídas de ovinos. En paralelo al corte, a 1 mm de separación del borde, se colocaron los clavos y clavijas, mientras se registraba la temperatura de todo el espesor de la cortical ósea con un termómetro infrarrojo (Land Cyclops 330 S), en una superficie de 3 mm.⁷

En esta etapa, intentamos demostrar que las perforaciones en especímenes ovinos con agujas y clavos de 1,5 y 1,75; 3; 4,5 y 6 mm de diámetro con punta Hoffmann y punta mecha son las que menor elevación térmica generaron, como se observa en caninos y humanos.

En este sentido, en todos los casos, independientemente del diámetro, las puntas mechas provocaron un menor incremento térmico que las Hoffmann (Tablas 1 y 2).

No se evidenciaron diferencias de temperatura significativas en la variación de los diámetros, tanto en las puntas mecha como en las Hoffmann (Tablas 3, 4 y 5).

Si se presentaron variaciones en la elevación térmica respecto de la longitud de la aguja desde la perforadora hasta su punta. Cuanto mayor pando presenta la aguja, menores posibilidades existen de ejercer presiones adecuadas de perforación (1,5 kg). Si bien esto se minimiza cuando empleamos ayuda manual para disminuir el pando, la presión ejercida no aumenta demasiado (2,5 kg) y, por ende, la temperatura aumenta.

Es de destacar también la importancia que juega la conservación de la circulación sanguínea subperiosteal y endomedular en reducir al mínimo la elevación térmica y, por lo tanto, la contraindicación del empleo de técnicas que actúen en su detrimento.³

Por último, el enfriamiento previo de los elementos perforantes a 5°C demostró ser un método eficaz para una disminución franca de la temperatura final del hueso con ambas puntas.

Etapas 2: Evaluación del daño mecánico e incremento térmico durante la colocación de agujas con puntas tipo Hoffmann y tipo mecha en ambas corticales de especímenes

Esta evaluación se realizó en forma macro y microscópica durante la perforación y después de ella.

Tabla 1. Comparación de elevaciones térmicas en especímenes ovinos (tibias) con clavijas de 1,75 mm de diferentes puntas

Punta, 1,75 mm	Mecha	Trocar	Espada	Hoffmann	Bayoneta
<i>n</i>	20	14	14	15	12
Media	12,4°C	50,64°C	46,07°C	33,4°C	40,08°C
DE	3,64	17,01	11,97	6,89	14,98

Tabla 2. Comparación de elevaciones térmicas entre especímenes ovinos y caninos (tibias) con agujas de 1,75 mm de diferentes puntas

Punta, 1,75 mm, 6 kg/900 rpm	Mecha	Trocar	Espada	Hoffmann	Bayoneta
Ovinos	12,4	50,64	46,07	33,4	40,08
Caninos	13,7	65,9	16,8	11,9	19,8

Tabla 3. Comparación de elevaciones térmicas en especímenes ovinos (tibias) con agujas y clavos punta mecha

Punta mecha	1,5 mm	1,75 mm	2,5 mm	4 mm	5 mm
<i>n</i>	19	20	15	8	8
Media	13,26°C	12,4°C	12,46°C	12,37°C	10,75°C
DE	7,68	3,64	3,27	1,92	3,69

Tabla 4. Comparación de elevaciones térmicas en especímenes ovinos (tibias) con clavos y agujas punta Hoffmann

Punta Hoffmann	1,5 mm	1,75 mm	3 mm	4,5 mm	6 mm
<i>n</i>	17	15	12	14	12
Media	27,47°C	33,4°C	28,5°C	27,92°C	25,91°C
DE	1,92	6,89	7,76	8,07	10,21

Tabla 5. Comparación de elevaciones térmicas en especímenes ovinos (tibias) con agujas y clavos autoperforantes con puntas Hoffmann y mecha

	1,5 mm	1,75 mm	3 mm	4,5 mm	6 mm
Punta mecha	13,26°C	12,4°C	12,46°C	12,37°C	10,75°C
Punta Hoffmann	27,47°C	33,4°C	28,5°C	27,92°C	25,9 1°C

Agujas tipo Ilizarov

En el caso de las agujas tipo Ilizarov, una vez perforada la primera cortical, cuando se perfora la segunda, el roce del elemento perforante provoca un notable incremento térmico en la primera y un importante deterioro del orificio (aumento de diámetro y deformación), esto se debe al pandeo de los elementos de pequeño diámetro.

Esto es mucho más evidente cuando tomamos las agujas de 30 cm de longitud desde su extremo con perforadoras que no permiten su enhebrado (presión máxima posible de perforación de 1,5 kg). En estos casos, la ayuda manual para evitar el pandeo no hizo más que paliar ligeramente el problema (presión máxima posible de perforación de 2,5 kg). Una prueba de ello es que, al cortar la aguja y trabajar con una longitud francamente menor (12 cm), aumentó la presión ejercida, y la elevación térmica y la deformación del orificio fueron también francamente menores.

Etapa 3: Evaluación del daño mecánico durante la colocación de clavos roscados con puntas tipo Hoffmann y tipo mecha en ambas corticales de especímenes

Clavos roscados autoperforantes

DAÑOS EN LA ROSCA DE LA PRIMERA CORTICAL. Hemos Comprobado, además, que los clavos autoperforantes roscados, cualquiera sea el modelo, cuando luego de perforar la primera cortical atacan, para hacer lo propio, a la segunda, producen un gran daño en la rosca labrada en la primera. Esto se debe a que, una vez labrada la rosca en la primera cortical, la velocidad de acercamiento del clavo a la segunda, así como la presión y velocidad de perforación, ya no son variables que podemos manejar en forma independiente, sino que pasan a depender de la rosca realizada en la primera. Existe, de

esta manera, una obligada interrelación entre éstas, que torna ingobernable a alguna de ellas por parte del operador.

Al atacar la segunda cortical, la progresión de la punta es más veloz que la velocidad de rotación del clavo, por lo que se recarga toda la presión sobre la rosca de la primera, deteriorándola gravemente.

DAÑOS DURANTE LA PERFORACIÓN DE LA SEGUNDA CORTICAL. Si el número de revoluciones por minuto es, en definitiva, lo que dará la velocidad de progresión del clavo roscado, es esta variable la que regirá la manera como llega la punta del clavo auto-perforante a la segunda cortical. Esto se agrava debido a que la perforación de la segunda cortical se lleva a cabo sobre la cara interna, mucho más porosa e irregular que la cara externa, lo que traba la punta de perforación y, por consiguiente, no permite su giro libre.

En el caso de los de punta similar a una mecha, se traban las irregularidades de la punta con las del hueso, lo que tiende más a la producción de fracturas que a un orificio conservador.

Estas fueron las razones por las cuales decidimos eliminar del estudio los clavos autoperforantes en lo sucesivo, y lo que nos guió en la confección de nuevos clavos concebidos a partir de esta experiencia. De aquí en más, todos los clavos se colocaron con preperforación con mecha del diámetro del alma del tornillo correspondiente.

Etapa 4: Colocación y extracción de los clavos en especímenes

Descongelado de los especímenes a temperatura ambiente en solución fisiológica. Colocación de los diferentes modelos de clavos roscados diseñados. Antes de la colocación, se realizó una preperforación con mechas de 3,2 mm de diámetro para los clavos de hueso esponjoso cónicos y de 4,8 mm para el resto de los clavos de hueso cortical, inclusive en aquellos que habían sido concebidos como autoperforantes. Una vez realizada esta preperforación, se colocaron los diferentes clavos en forma manual empleando mangos en T, especialmente contruados, que se adecuaban a una muesca labrada en el extremo opuesto a la rosca de cada clavo.

Extracción de los clavos

Durante la extracción de los clavos con la prensa hidráulica, debemos asegurarnos de que la fuerza de extracción actuara en forma exactamente perpendicular sobre cada uno de los clavos colocados en el hueso.

Al actuar como superficie de apoyo sobre la prensa, la cortical de la tibia en que cada clavo había sido colocado, y éstos no estaban exactamente perpendiculares a ésta, la fuerza que ejercía la prensa lo hacía sobre un clavo no totalmente perpendicular, con las inexactitudes que esto conllevaba. Para evitarlo, confeccionamos para cada clavo y cada hueso una base especial de cemento epoxi de alta resistencia a las presiones, que facilitó que las extracciones se efectuaran con los clavos ubicados en dirección exacta al eje axial del émbolo de la prensa.

Si bien todas estas ventajas que nos aporta la perforación previa son ciertas, hay determinados parámetros muy particulares que debemos respetar.

Una vez realizada la perforación previa con mecha, pasamos a labrar la rosca en el primer orificio con el clavo autorroscante. Independientemente del método que utilizemos para ello (manual con mango en T o con perforadora eléctrica), si no se toman determinados recaudos, surge un gran inconveniente. La dirección que damos al clavo durante su autorroscado en la primera cortical marca con exactitud el futuro sitio de penetración en la segunda cortical, el que en la mayoría de los casos, no coincide exactamente con el orificio que habíamos realizado previamente con la mecha. Si esto fue cons-

tado aun cuando realizamos el orificio en forma experimental en un hueso muerto a la vista, es de imaginar qué sucede a cielo cerrado, el modo más común de colocar clavos tanto en ortopedia y traumatología humana como veterinaria.

De este modo, ocurren dos contratiempos, uno se asemeja al que sucede cuando utilizamos tornillos autoperforantes, que ya analizamos, el deterioro de la rosca en la primera cortical al no coincidir la punta del clavo con el orificio de salida y, a pesar de ello, seguir girando; el segundo es el deterioro en la segunda cortical por falta de alineamiento con el orificio preperforado.

Etapa 5: Colocación de clavos en animales vivos

En esta etapa, se emplearon veinte ovinos con controles que determinaron su perfecto estado de salud. Ayuno previo de sólidos 48 h y de líquidos 24 h.

Anestesia

Narcosis basal y anestesia epidural. Premedicación con clorhidrato de xilacina (0,2 mg/kg), sulfato de atropina (0,1 mg/kg) y clorhidrato de ketamina (2,5 mg/kg) por vía intramuscular.

Luego de 5-15 minutos, el animal adopta el decúbito. Se esquila la zona lumbosacra y el antebrazo en correspondencia con la vena cefálica antebraquial. Se mantiene esta vía permeable con un goteo de solución fisiológica al 0,85% a una velocidad de perfusión de 10ml/kg/hora.

Anestesia epidural, ingresando en el espacio lumbosacro, con una solución de lidocaína al 2% con epinefrina. El clorhidrato de ketamina se repite por vía endovenosa, según necesidad.

Intervención quirúrgica

La preparación del campo quirúrgico fue convencional. La posición del animal sobre la camilla en decúbito lateral, de manera que la cara anteromedial del miembro para trabajar quede a la vista del cirujano.

Se realizó una incisión en piel de 1 cm, a fin de permitir el paso de la mecha (de 3,2 mm para hueso esponjoso y de 4,8 mm para hueso cortical). El orificio resultante sirvió como guía para colocar cada clavo.

Los clavos se colocaron mediante un mango para roscado manual en forma perpendicular al eje longitudinal del hueso. Se dejó una separación entre cada uno de ellos de 4 cm. Cada clavo debió sobresalir de la cara ósea opuesta, por lo menos 1,5 cm para posibilitar el trabajo de extracción posterior con la prensa hidráulica. Luego, se cortaron de manera tal que sólo quedaron sobresaliendo al exterior 5 cm de cada clavo.

Etapa 6: Eutanasia y medición de fuerzas de extracción de los clavos

Primera parte

Los animales fueron sacrificados el día 56; se les extrajo las tibias y se las conservó según las normas descritas. Para las pruebas de extracción, se llevaron a temperatura ambiente con método ya descrito. Estas fueron realizadas en el INTI (Tabla 7).

Segunda parte

Utilizando estos mismos especímenes, se colocaron clavos idénticos vecinos a su ubicación anterior, a fin de comparar la fuerza de extracción necesaria en el mismo hueso, pero ya inerte, y se repitieron las pruebas de extracción.

Nota: Para cada una de las extracciones se confeccionó una base de cemento epoxi similar a la descrita anteriormente.

Estudio estadístico

Comparaciones de elevaciones térmicas en especímenes ovinos con clavijas de 1,75 mm y diferentes puntas (Tabla 5)

La comparación entre ellas se realizó por análisis de varianza, y se demostró que la diferencia es altamente significativa con un nivel de significación del 5% ($p = 0,0000$).

Se efectuó la comparación por *t* de Student, y se demostró que la comparación entre la punta mecha, con cada una de las demás, fue significativa con un nivel del 5%:

- Comparación punta mecha con punta trocar ($p = 0,0130$)
- Comparación punta mecha con punta espada ($p = 0,0065$)
- Comparación punta mecha con punta Hoffmann ($p = 0,0040$)
- Comparación punta mecha con punta bayoneta ($p = 0,0291$)

En segundo término, se comparó entre la punta Hoffmann y cada una de las demás mediante *t* de Student, y no se hallaron diferencias con un nivel de significación del 5%, pero sí en dos de ellas, con el 10%.

- Comparación punta Hoffmann con punta trocar ($p = 0,0780$)
- Comparación punta Hoffmann con punta espada ($p = 0,0776$)
- Comparación punta Hoffmann con punta bayoneta ($p = 0,25$)

Comparación de elevaciones térmicas en especímenes ovinos con clavos punta Hoffmann y punta mecha

Ambas se analizaron con análisis de varianza; se demostró que las diferencias de temperaturas entre los diferentes diámetros de cada una de ellas no son significativas al 5%:

- ANOVA correspondiente a los promedios de diferentes diámetros de puntas mecha ($p = 0,8320$) (Tabla 3).
- ANOVA correspondiente a los promedios de diferentes diámetros de puntas Hoffmann ($p = 0,0769$) (Tabla 4).

Extracciones medidas inmediatamente de colocados en especímenes (24 h)

A fin de comparar las fuerzas necesarias para la extracción de los distintos tipos de clavos entre sí, se los agrupó (Tabla 6).

A pesar de que las fuerzas medias requeridas para extraer los diferentes tipos de clavos a las 24 h comparativamente mostraron diferentes resultados, mediante el análisis de varianza, se observó que no hubo diferencias significativas entre los grupos, con un nivel de significación del 5% ($p = 0,0496$), pero sí debemos aclarar que dicho valor se encuentra en el límite de la significación ($p = 0,05$).

Extracciones medidas después de 56 días de colocación en ovinos vivos

Se dividieron nuevamente los resultados en grupos, para realizar las comparaciones según las características de cada uno de ellos (Tabla 7).

Se realizó análisis de varianza entre los cuatro grupos de clavos colocados en hueso cortical de animales vivos en tibias de ovinos extraídas a los 56 días. A pesar de que el registro de las medias mostró cifras diferentes, tampoco se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos grupos con un nivel de significación del 5% ($p = 0,5294$).

Extracciones a las 24 horas y extracciones a los 56 días
Luego del análisis individual, se dividieron los resultados en dos grandes grupos: especímenes y animales vivos. Se comparó cada tipo de clavo colocado en especímenes con su correspondiente en animales vivos, en los que el clavo se extrajo a los 56 días de la colocación. Estas comparaciones se efectuaron por el método *t* de Student.

Con un nivel de significación del 5%, observamos que:

- Al comparar las fuerzas requeridas para extraer el grupo de los clavos 1 en forma inmediata, con los resultados obtenidos para los mismos clavos extraídos a los 56 días de colocados, existieron diferencias estadísticas significativas entre ambos grupos ($p = 0,0217$).

Para el resto de los clavos, no se observaron diferencias significativas entre los grupos:

- *t* de Student para grupo de clavos 2 a las 24 h y clavos 2 a los 56 días ($p = 0,2641$).
- *t* de Student para grupo de clavos 3 a las 24 h y clavos 3 a los 56 días ($p = 0,0567$).

Tabla 6. Mediciones de extracciones inmediatas de clavos roscados (24 horas)

	Clavo 1	Clavo 2	Clavo 3	Clavo 4
Tibia 1	287	326	230 (F)	—
Tibia 2	437	394		300 (T)
Tibia 3	274		331 (T)	164
Tibia 4	—	250	293	253 (T)
Tibia 5	231	268 (F)		—
Tibia 6	—	—	—	269
Tibia 7	411 (T)		279	—
Tibia 8	205	—	—	—
Tibia 9	—	218		—
Tibia 10	—	279		—
Tibia 11	—	233		—
Tibia 12 (distal)	150	—	—	—
Tibia 12 (medio)	215	—	—	—
Tibia 13	291 (F)	—	—	265
Tibia 14	183	—	—	—
Tibia 15 (distal)	—	—	—	244
Tibia 15 (prox.)	—	—	—	149
Tibia 16	—	184		—
Tibia 17	234	—	—	—
Tibia 18	—	—	224	—
Tibia 19	302	—	—	—
Tibia 20	—	—	—	213 (F)
Tibia 21	—	—	314	272 (F)
Tibia 22	—	Se fracturó		—
Tibia 23	—	222		—
Tibia 24	238 (F)	—	—	—
Tibia 25	—	—	—	—
Tibia 26	—	—	—	176
Tibia 27	—	- Clavo torcido		145
Tibia 28	—		368	—
Tibia 29	—	278		—
Tibia 30	—	214		—
Tibia 31	212	304		—
Tibia 32	—	169		—
Media	262,14	256,85	291,29	222,73
DE	80,91	61,29	52,31	55,59

Clavo 1: tracción cilíndrica; clavo 2: empuje cilíndrico; clavo 3: tracción cónica; clavo 4: tracción cónico-esponjosa. (F), fractura; (T), torcido.

Tabla 7. Mediciones de extracciones de clavos después de 56 días de colocación en tibias de animales vivos

	Clavo 1	Clavo 2	Clavo 3	Clavo 4
Oveja 1	—	—	306	—
Oveja 2	—	284	—	286
Oveja 3	281	—	386	276
Oveja 4	—	—	334	310
Oveja 5	—	—	386	—
Oveja 6	455	318	303	—
Oveja 8	333	295	316	—
Oveja 7	—	—	—	—
Oveja 9	260	171	281	—
Oveja 10	—	—	—	577
Oveja 1 1	—	181	481	—
Oveja 12	520	—	Torcido	—
Oveja 13 (der.)	271	—	—	—
Oveja 13 (izq.)	241	422	—	—
Oveja 14	—	—	407	—
Oveja 15	—	—	306	—
Oveja 16	—	355	—	—
Oveja 17	—	—	—	406
Oveja 18	—	—	278	—
Oveja 19	361	—	—	—
Oveja 20	—	—	402	250
Media	340,25	289,42	348,83	350,83
DE	100,40	89,94	62,61	123,15

Clavo 1: tracción cilíndrica; clavo 2: empuje cilíndrico; clavo 3: tracción cónica; clavo 4: tracción cónico-esponjosa.

- t de Student para grupo de clavos 4 a las 24 h y clavos 4 a los 56 días ($p = 0,0512$).

Con un nivel de significación del 10%, observamos que:

- Las diferencias son significativas para los grupos de clavos 1, 3 y 4.
- Las diferencias no son significativas para el grupo 2 ($p = 0,2641$).

Discusión

Etapa 1

En el hueso humano, las variables que rigen la elevación térmica son la presión de perforación, la velocidad del elemento perforante y el tipo de puntas. Matthew ha demostrado que, entre ellas, la variable más importante es la presión de ataque con que el operador realiza el orificio, y le sigue, en orden de importancia, el tipo de punta utilizado.¹⁹

Además, hemos visto que las puntas tipo mecha y las tipo Hoffmann son, independientemente del diámetro, las que producen menor elevación térmica. Con respecto a las revoluciones, observamos que, para las agujas de 1,5 y 1,75 mm, el número de revoluciones ideal es de 2000 por minuto.⁷

Haber utilizado el hueso canino para repetir las experiencias que Matthews realizó en hueso humano, nos permitió comprobar que todas las premisas que se daban en el hueso humano durante la perforación, también se dieron en el hueso canino.⁷

Es necesario aclarar que, en esta especie, debido a su menor espesor cortical, las temperaturas registradas eran, en general, más bajas que en el hueso humano y, además, debido al diámetro de las tibias, hueso utilizado para todas las experiencias en animales, a medida que aumentábamos el diámetro del elemento perforante, actuábamos durante la perforación en desmedro de la integridad del hueso, especialmente con los clavos de 6 mm de diámetro.²⁴

Por estas y otras razones, económicas, proteccionistas, resistencia a las infecciones, etc., optamos por repetir los trabajos en el hueso ovino, utilizando para ello las tibias.

En esta especie, los resultados siguieron exactamente las mismas pautas que en las demás: parámetro más importante: la presión de penetración, luego el tipo de puntas y, por último, el número de revoluciones.

El orden creciente de los promedios de las elevaciones térmicas que cada una de las puntas de agujas produjo, fue el mismo que en los caninos (Tabla 1), pero las temperaturas fueron significativamente mayores, debido al mayor espesor de cortical (Tabla 2).

Esto permite que los resultados en el hueso ovino sean más representativos para ser extrapolados a la especie humana, sin perder la posibilidad de extrapolación al canino, ya que las elevaciones térmicas fueron intermedias entre las de una y otra especie.⁷ Con respecto a los tipos de puntas, las diferencias en menos de la punta mecha con respecto a las demás fueron estadísticamente significativas y se registraron en todos los diámetros probados (1,5; 1,75; 3; 4,5 y 6 mm) (Tablas 3, 4 y 5).

Si como surge de los resultados de trabajos anteriores y de este mismo,⁷ la presión ejercida es de suma importancia para disminuir la temperatura, toda forma de trabajo que la limite producirá un incremento de temperatura durante la perforación. Por ello, es totalmente desaconsejable emplear agujas de pequeño diámetro (1,5 y 1,75 mm) y gran longitud (30-40 cm) tomadas desde su extremo. Esto limita la presión ejercida e, indudablemente, provoca una mayor osteólisis mediata, con el lógico aflojamiento. Por ello, es de primordial importancia que los centros quirúrgicos cuenten con perforadoras que permitan el enhebrado de éstas, con una longitud de ataque y, por ende, de pando menor, logrando de este modo una mayor presión (6 kg con 12 cm de longitud libre).

Asimismo, hemos comprobado comparando los promedios de elevaciones térmicas obtenidas de perforaciones realizadas en especímenes y en animales vivos, que la circulación sanguínea juega un papel primordial en disminuir la elevación de la temperatura, por ende, es fundamental conservarla y, en lo posible, no limitarla.²⁴

Con respecto a la posibilidad de contribuir a una merma de la elevación térmica con la irrigación de la aguja con soluciones a temperatura ambiente durante la perforación, podemos agregar que, cuando esta irrigación fue realizada sobre la aguja ubicada en sentido perpendicular a la camilla y a cielo abierto, es decir, con el líquido contactando la interfaz clavo-hueso, fue eficaz únicamente durante la perforación de la primera cortical, y no de la segunda, pues en este último caso, la solución no llega a estar en contacto con la interfaz aguja-clavo, cubierta por la primera cortical. Si la irrigación se realiza cuando la perforación se practica con la aguja paralela a la camilla, este método no tiene sentido, toda vez que la solución no llega a tomar contacto con el sitio de roce de la aguja con el hueso.

Una situación similar ocurrió cuando empleamos este método a cielo cerrado y la interfaz hueso-clavo estaba recubierta de tejidos blandos que no permitían el contacto de la solución con la interfaz clavo-hueso.

Sí nos resultó de gran utilidad el enfriamiento previo de las agujas a 5°C, lo que disminuyó en forma importante la elevación térmica ósea. Aclaremos que este enfriamiento se puede realizar perfectamente, con el material esterilizado dentro de sus envoltorios.

Etapa 2

La perforación de la segunda cortical con las agujas de 30 ó 40 cm de longitud y 1,5 mm y 1,75 mm provocan mayores o menores inconvenientes, de acuerdo con el nivel en el que son fijadas con la perforadora.

Si éstas son tomadas, como citamos antes, desde su extremo, no sólo se produce el mismo efecto sobre la segunda cortical por falta de buena presión de ataque, sino que además se le suma el aumento del roce en el orificio ya perforado en la primera cortical, y continúa el incremento de temperatura en ésta.

Por el contrario, si son enhebradas en una perforadora que lo permita, la presión de ataque a la segunda cortical aumenta, por lo que disminuye en ella el incremento térmico, pero por el mayor pandeo que la presión produce, continúa el aumento de temperatura en la primera a mayores niveles que con poca presión.

A esto, que traerá aparejada una osteólisis posterior, se le suma la deformación que produce este mismo roce por pandeo, aumentando la inestabilidad inmediata de la aguja en dicha cortical.

Etapa 3

Durante la perforación de la primera cortical, la efectividad de las puntas Hoffmann y mecha para disminuir la elevación térmica fue indudable con todos los diámetros probados (Tablas 3, 4 y 5).

El inconveniente se produce cuando perforamos la segunda cortical con clavos, con las mismas puntas, pero roscados (en nuestro estudio, a partir de los 3 mm de diámetro), debido a que estos, cuando enfrentan la segunda cortical para perforarla, ya están enhebrados y roscados en la primera cortical.

En estos casos, entre los parámetros que rigen la elevación térmica en una perforación (presión de ataque, tipo de punta y velocidad de perforación), no podemos más que limitarnos a manejar sólo uno, que es el tipo de punta (Hoffmann o mecha en este trabajo).

La velocidad de rotación y de avance, y la presión que se ejercerá sobre la segunda cortical pasan a estar íntimamente correlacionadas, toda vez que cuando giramos un elemento roscado macho en una rosca hembra a una velocidad dada, estamos determinando la velocidad de avance de dicho elemento.

Como esto es exactamente lo que ocurre, no podemos manejar dichos parámetros en forma independiente, con los resultados siguientes:

- a) Destrucción de la rosca labrada en la primera cortical cuando la punta del clavo se topa con la segunda cortical y no consigue penetrarla; el clavo sigue girando y destruye la rosca realizada previamente.
- b) Destrucción de la segunda cortical por una desmesurada velocidad de avance y de presión del clavo.
- c) Daños parciales en ambas corticales con franco deterioro de ambas roscas.

Este tipo de inconvenientes puede ser, en parte, subsanado si realizamos una perforación previa con mecha para cada clavo por colocar. El diámetro de esta mecha debe estar mediado por el diámetro del alma del tornillo; en caso de los clavos cónicos, por el diámetro del alma en la parte inicial de la rosca.

Al realizar esta perforación previa con mecha, se eleva en forma mínima la temperatura ósea (Tabla 3). Como éstas no poseen roscada, luego de realizar el orificio en la primera cortical, sigue girando sin ningún condicionamiento para atacar la segunda cortical, con la posibilidad de que el operador maneje, en forma independiente, la velocidad de rotación y la presión de penetración.

Otro de los inconvenientes con el que nos encontramos, es que al colocar el clavo roscado en este lecho preconfeccionado, cuando penetramos en la primera cortical y labramos la rosca con el clavo autorroscante, fijamos la dirección con que el clavo atacará la segunda cortical. De este modo, en muchos casos, la punta del clavo no coincide exactamente con el orificio preestablecido, provocando daños tanto en la primera como en la segunda cortical.

Para evitar esto, debemos trabajar con una guía de perforación, que nos asegure que el clavo tomará exactamente la misma dirección que la mecha que hizo el orificio. Para ser realmente útil en este sentido, esta guía debe tener un mecanismo o punta de fijación tal, que permita que no se mueva durante el procedimiento.

Etapa 4

En teoría, la cuarta etapa debería realizarse colocando los clavos en animales vivos y extrayéndolos a las 24 h, luego de sacrificar al animal. Como los huesos no tienen posibilidad de reacción en tan corto tiempo (desde su colocación en el animal vivo hasta su sacrificio), realizamos las pruebas en especímenes extraídos de animales sacrificados previamente y mantenidos bajo las pautas que se describen en "Materiales y método".

Este modo de trabajo nos permitió realizar, además, las comprobaciones en los especímenes de las tibias en que estuvieron colocados los mismos modelos de clavos durante 56 días.

Si bien hallamos una notoria diferencia entre los promedios de las fuerzas requeridas para la extracción de los grupos de clavos 1, 2 y 4 con respecto al grupo 3, estas diferencias, según las pruebas estadísticas utilizadas, no fueron significativas (Tabla 6).

De cualquier modo, creemos que este grupo 3 de clavos cónicos resultó ventajoso con respecto a los cilíndricos, pues se suma a la imposibilidad de extraerlos en sentido axial a favor de su conicidad (pues harían estallar el hueso) y su mayor *performance* en sentido contrario.

Si el grupo de clavos 3 cónicos fue, en promedio, el que más fuerza requirió para ser extraído en contra de su conicidad, la falta de diferencias significativas con respecto a los demás, si bien no certifica su mayor *performance*, tampoco certifica que ésta sea menor con respecto a los otros tres.

Si sumamos esta mayor *performance* en promedio con la dada por su conicidad, estaríamos en presencia de un clavo con un diseño superior a los demás.

Etapa 6

En esta etapa, el grupo de clavos 2 fue el que tuvo menor eficacia promedio con respecto a la fuerza necesaria para la extracción axial. Si repasamos su diseño, encontramos que esto sería totalmente lógico y esperable, pues en sus espiras, el estribo a 90° está en sentido inverso al resto de los clavos. Esta rosca está concebida para hacer tracción en el sentido contrario al de la fuerza que se realizó para su extracción, y este resultado no es más que una confirmación subjetiva de lo que sostenemos, pues el cálculo estadístico realizado nos muestra que las diferencias no pueden considerarse significativas.

Con respecto al resto de los clavos (grupos 1, 3 y 4), cuyas roscas están concebidas para realizar mayor fuerza en el sentido contrario, observamos la similitud de los promedios de las fuerzas requeridas para su extracción con la prensa.

Comparaciones entre los resultados de las etapas 4 y 6

Tal como expresamos en un estudio anterior,²⁴ es importante destacar que no hallamos variaciones en la fijación de los clavos respecto del tiempo de permanencia del hueso.

A diferencia de lo que opinan Bennett y cols.,² nuestros resultados muestran otra vez que, prácticamente, la fuerza requerida para extraerlos luego de casi dos meses de colocación y sin ser sometidos a carga alguna fue similar a la necesaria para extraerlos en el mismo momento de la implantación.

La resorción ósea en respuesta a una excesiva tensión podría cambiarse y formar una interfaz hueso-clavo funcional.¹⁶ Los espacios entre las roscas de los implantes son invadidos por células migratorias indiferenciadas. Si no hay movimiento, las células se diferencian en osteogénicas y se produce una marcada proliferación de hueso que madura en aproximadamente 4 semanas, y llega a un máximo de resistencia a las seis. Si, durante ese tiempo, dicha interfaz es cargada excesivamente y la irrigación no es favorecida, las células se diferenciarán en osteoclastos y fibroblastos, los cuales conducirán a la formación de tejido fibroso y cartilaginoso, y por último, a la resorción ósea.

Conclusiones

- Los parámetros que rigen la elevación térmica durante la perforación de hueso ovino, canino y humano con materiales y metodologías similares, son comparables.
- El promedio de las elevaciones térmicas en el hueso ovino es menor que en el humano y mayor que en el canino, por lo que resulta ventajoso como animal de experimentación para este tipo de estudios.
- Las puntas de agujas de 1,5 y 1,75 mm de diámetro de nuevo diseño generan menor aumento térmico óseo que las utilizadas tradicionalmente. Las tipo trocar provocan una elevación térmica mayor que cualquier otra de las puntas probadas, que producirán, indudablemente, una osteólisis posterior mayor.
- Las puntas autoperforantes tipo Hoffmann y mecha de clavos roscados de 3; 4,5 y 6 mm de diámetro, si bien producen menor elevación térmica en la perforación de la primera cortical, al perforar la segunda causan daños mediatos e inmediatos en ambas, que se evitarían utilizando una perforación previa con mecha del tamaño del alma del tornillo.
- Una mayor fuerza impresa al elemento perforante disminuye la elevación térmica en todos los casos.
- Una menor elevación térmica produce menor osteólisis y, por lo tanto, mayor *performance* de agarre al hueso.
- Si no sometemos a fuerzas externas a los clavos ya colocados por 56 días, su fijación al hueso aumenta con el tiempo y es igual o mayor que en los del mismo tipo recién colocados. En estos casos "clínicamente utópicos", los clavos autoperforantes pasan a tener una *performance* similar a la de los que se colocan con perforación previa.
- Si bien no hubo diferencias estadísticamente significativas, no deja de ser importante que, según lo espe-

rado, el grupo 3 de clavos tiene un promedio mayor de *performance* de fijación al hueso a la extracción inmediata (24 h) que los otros tres grupos, y que el grupo 2 tiene un promedio menor de *performance* a la extracción mediata (56 días) que los otros tres grupos.

Por lo expresado, podemos suponer que, en la medida en que la presión generada alrededor de los clavos en cualquier fijador externo pueda repartirse en una mayor

cantidad de tejido óseo, la osteólisis será menor y la fijación será mayor. Esto podría lograrse aumentando el número de clavos que soporten las presiones.

Según estos resultados y otros anteriores, opinamos que la mayor o menor fuerza de fijación de los clavos roscados depende del tipo de tejido que se genera alrededor de las roscas. Este será óseo, si el movimiento es escaso. Si, por el contrario, existen muchas fuerzas de tensión, el resultado será un tejido de menor resistencia y, por lo tanto, existirá una menor fuerza de fijación.

Referencias bibliográficas

1. Aron, DN; Toombs, JP, y Hollings Worth, SC: Primary treatment of severe fractures by external skeletal fixation: threaded pins compared with smooth pins. *J Am Anim Hosp Assoc*, 22: 659-670, 1986.
2. Bennett, A; Egger, E; Iistand, M, y Ellis, A: Comparison of the strength and holding power of 4 pin designs for use with half pin (type I) external skeletal fixation. *Vet Surg*, 16 (3): 207-211, 1987.
3. Boyd, CL; Bynum, D; Ray, DR, y cols.: In vitro evaluation of bone fasteners. *Southwestern Vet*, 23: 279-281, 1970.
4. Boyne, PJ: Histological response of bone to sectioning by high speed rotary instruments. *J Dent Res*, 45 (2): 270-276, 1966.
5. Clary, E, y Roe, S: Enhancing external skeletal fixation pin performance: Consideration of the pin-bone interface. *VCOT*, 1-8, 1995.
6. Darmana, R; Autefage, A; Rostang, G; Cahuzac, JP, y Honatho, MC: Mesure des effect thermo-mécaniques produits par cinq broches d'ostéosynthèse d'extrémités différentes. *Arch Int Physiol Bioch Biophys*, 102: 3, 1994.
7. Di Tollo, C; Pistani, J, y Miscione, H: Estudio de los efectos de diferentes variables de perforación en la estabilidad de clavos y clavijas utilizadas en fijadores externos. *Rev Asoc Arg Ortop Traumatol*, 61 (4): 501-514, 1996.
8. Egger, E; Histand, M, y Blass, CH: Effect of fixation pin insertion on the bone-pin interface. *Vet Surg*, 15 (3): 246-252, 1986.
9. Eriksson, RA; Albrektsson, T, y Albrektsson, B: Heat caused by drilling cortical bone: Temperature measured in vivo in patients and animáis. *Acta Orthop Scand*, 55: 629-631, 1984.
10. Eriksson, RA; Albrektsson, T, y Magnusson, B: Assessment of bone viability after hear trauma. A histological, histochemical and vital microscopic study in the rabbit. *Scand J Plast Reconstr Surg*, 18: 261-268, 1984.
11. Fabroni, R; Ceballos, E, y Ramos Vértiz, J: *Cirugía de las fracturas y de los reemplazos osteoarticulares*. Editorial Reflejos; 226-228, 1977.
12. Halsey, D; Fleming, B, y Pope, M: External fixator pin design. *Clin Orthop*, 278: 305-312, 1992.
13. Hobkirk, JA, y Rusiniak, K: Investigation of variable factors in drilling bone. *J Oral Surg*, 35 (12): 968-977, 1977.
14. Holshaw, S; Schaffler, M, y Fyhrie, D: *Effect of thread design on microdamage creation in cortical bone*. Proceedings of the 40° Orthopaedics Research Society; 537, 1994.
15. Hughes, AN, y Jordán, B: The mechanical properties of surgical bone screws and some aspects of insertion practice. *Injury*, 4: 25, 1969.
16. Ilizarov, G: Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop*, 250: 8-26, 1990.
17. Krause, WR; Bradbury, DW; Kelly, JE, y Lungford, EM: Temperature elevations in orthopaedic cutting operations. / *Biomechanics*, 15: 267-275, 1982.
18. Lundskog, J: Heat and bone tissue: An experimental investigation of the thermal properties of bone tissue and threshold levels for thermal injury. *Scand J Plast Reconstr Surg*, 9: 80, 1972.
19. Matthew, LS, y Kirsch, C: Temperature measured in human cortical bone when drilling. *J Bone Jt Surg (Am)*, 54: 297, 1972.
20. Matthews, L; Green, C, y Goldtein, SA: The thermal effects of skeletal fixation-pin insertion in bone. *J Bone Jt Surg (Am)*, 66 (7): 1077-1083, 1984.
21. Palmer, RH, y Aron, DN: Ellis pin complications in seven dogs. *Vet Surg*, 19: 440-445, 1990.
22. Perren, SM: Physical and biological aspects of fracture healing with special references to internal fixation. *Clin Orthop*, 138: 175, 1979.
23. Pistani, J, y Stefano, E: Tutores externos en ortopedia y traumatología. Primera parte: Conceptos generales. Tipos de clavos. *Rev Asoc Arg Ortop Traumatol*, 59 (5): 26-32, 1994.
24. Pistani, J; Di Tollo, C; Miscione, H; Montoro, A, y Guerrero, J: Relación entre diferentes variables de clavos roscados empleados en tutores externos y su estabilidad en animales vivos. *Rev Asoc Arg Ortop Traumatol*, 64 (1): 44-51, 1999.
25. Tokvig-Larsen, S; Ryd, L, y Lindstrand, A: On the problem of heat generation in bone cutting. Studies on the effects on liquid cooling. *J Bone Jt Surg (Br)*, 73: 13-15, 1991.
26. Trueta, J, y Little, K: The vascular contribution to osteogenesis. Studies with the electrón microscope. *J Bone Jt Surg (Br)*, 42: 367, 1960.
27. Uthoff, H: Mechanical factors influencing the holding power of screws in compact bone. *J Bone Jt Surg (Br)*, 55 (3): 633-639, 1973.
28. Yovich, JV; Turner, AS, y Smith, FW: Holding power of orthopedic screws. Comparison of self-tapped and pre-tapped screws in foal bones. *Vet Surg*, 15: 55-59, 1986.