

INVESTIGACION

Relación entre diferentes tipos de clavos roscados empleados en tutores externos y su estabilidad en animales

J. PISTANI,* C. DI TOLLO,* H. MISCIONE. § A. MONTORO* y J. GUERRERO*

*Área de Cirugía y Anestesiología, Departamento de Medicina, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires;
 §Servicio de Ortopedia y Traumatología, Hospital Nacional de Pediatría Profesor Juan P. Garrahan, SAMIJC, Buenos Aires.

RESUMEN: Los autores comparan paralelamente en hueso cortical y esponjoso la influencia de diversos parámetros sobre la estabilidad de siete modelos de clavos roscados, al ser sometidos a la presión axial en sentido contrario al de su ingreso. Para su colocación se utilizaron elementos y técnicas recomendadas por sus fabricantes. A fin de simular lo que ocurriría en animales vivos 24 horas después de haber sido colocados, en los que no existe una respuesta ósea inmediata importante, se trabajó en especímenes de ovinos (tibia extraídas y mantenidas según normas preestablecidas). Para tener en cuenta los cambios dinámicos que ocurren en el nivel óseo se realizaron comprobaciones 56 días después de haber sido colocados en animales de la misma especie. Con el objeto de evitar la acción de otras variables sobre la interfase hueso-clavo, los clavos fueron cortados sin ninguna fijación externa posterior. Según nuestros resultados, no existirían diferencias significativas en la fuerza requerida para la extracción de los diferentes modelos de clavos probados, tanto en la comprobación mediata como en la inmediata. Esto haría suponer que el aflojamiento de los clavos en los fijadores externos colocados bajo normas apropiadas depende más de las fuerzas a las que están sometidos, que del diseño o la configuración de su rosca.

PALABRAS CLAVE: Tutores externos. Clavos roscados.

RELATIONSHIP AMONG DIFFERENT VARIABLES IN THREADED NAILS USED IN EXTERNAL FIXATION AND THEIR STABILITY IN ANIMALS

ABSTRACT: The impact of several measures on the stability of seven threaded nails is compared, in both cortical and cancellous bone, when subjected to axial pressure opposite to the direction of nail insertion. Elements and techniques recommended by the manufacturers were used to insert the nails. To mimic events occurring 24 hours after nail placement in live animals in which there is no significant immediate bone response, ovine models were used (the tibiae were removed and preserved according to recommended standards). To examine the dynamic changes in the bone, specimens were evaluated 56 days after nail placement. To prevent other variables from influencing upon the bone-nail interface, the nails were cut and no external fixation was used subsequently. Based on our results, no statistically significant differences in the forces required to remove the different models of nails tested were found, in the short or the long term. This would suggest that nail loosening in the external fixators placed according to recommended techniques depends on the forces upon nails rather than on the thread design or configuration.

KEY WORDS: External fixators. Threaded nails.

Recibido el 15-12-1998. Aceptado luego de la evaluación el 25-2-1999.

El siguiente trabajo fue subsidiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires. Código VE 043. Trienio 1996/98.

Correspondencia:

Dr. J. PISTANI
 Chorroarín 280
 (1427) Capital Federal
 Argentina

Tel. 4524-8464. Fax 4521-8316/4524-8480. E-mail: jpistani@fvet.uba.ar.

La fijación esquelética externa es un método terapéutico actualmente empleado para el manejo quirúrgico de una amplia variedad de patologías ortopédicas y traumáticas.

Todos los dispositivos utilizados, cualquiera sea su conformación, tienen en común el uso de clavos y clavijas, que los fijan al hueso. Por lo tanto, es fundamental que permanezcan estables, mientras dure su función, para que sólo los movimientos previstos sean los que se trasladen al hueso.

Los diferentes fijadores externos, basados en la disposición de los clavos, pueden clasificarse en transfectivos o

no transfectivos, según atraviesen las dos superficies cutáneas o no. Los clavos pueden ser lisos o con rosca, y estos últimos, total o parcialmente roscados, ya sea en su parte central o en uno de sus extremos. Las roscas pueden ser positivas o negativas de acuerdo con que su diámetro externo supere el diámetro del cuerpo del clavo o no y presentan diferentes diseños (paso, perfil, interferencia, ángulo de ataque, etc.). Todas actúan, en mayor o menor medida, sobre la resistencia de la interfase hueso-clavo.

Las superficies de los filetes de las roscas de los clavos y del hueso deben estar en relación inversa a la resistencia mecánica que contraponen uno y otro material; por lo tanto, debe ser mayor en el hueso que en el metal y, asimismo, en el hueso esponjoso que en el cortical.

En el mercado existe una amplia variedad de clavos roscados con diferentes características: cónicos, cilindricos, etcétera.

En muchos casos, el diseño está guiado más por una cuestión de ingenio o moda, que por un conocimiento real de las propiedades biomecánicas, y algunos fabricantes copian las roscas de los tornillos. La función de la rosca en los tornillos es principalmente la de comprimir los elementos que solidarizan (hueso-hueso, placa-hueso). Por el contrario, las roscas de los clavos deberían estar diseñadas para soportar presiones en varios sentidos, como por ejemplo, el sentido axial.

A pesar del gran perfeccionamiento de los materiales y del diseño de fijadores, la causa común de su fracaso funcional continúa siendo la pérdida de la estabilidad en esta interfase.

La colocación y permanencia de estos implantes en el hueso genera, debido a factores mecánicos, vasculares y/o térmicos, una zona de necrosis a su alrededor.¹ En respuesta, el organismo tiende a la remoción del tejido necrosado y a su reemplazo por tejido vivo, el que se diferenciará, dependiendo de las circunstancias, en fibroso, cartilaginoso u óseo.¹

Según Chao y cols.², la debilidad en la interfase hueso-clavo es debida, principalmente, a que es el sitio de mayor concentración de fuerza durante la carga.

El debilitamiento de esta interfase provoca una pérdida en el poder de "amarre" de los clavos y, por lo tanto, una alteración de su función.

Los métodos de evaluación de la interfase clavo-hueso pueden clasificarse en directos e indirectos. Los primeros se basan en la histología, mientras que los indirectos incluyen pruebas biomecánicas, térmicas y de rendimiento clínico.

Dentro de los indirectos, varios autores evaluaron los dos tipos de roscas más empleadas, tipo V, de corte simétrico, y "en estribo", de corte asimétrico. Algunos no hallaron diferencias en la extracción axial; sin embargo, otros determinaron un menor microdaño óseo cuando se utilizaban tornillos con perfil simétrico.

En la bibliografía no encontramos datos concretos

sobre la relación entre el poder de fijación inmediato y el aflojamiento posterior de los clavos: sin embargo, varios autores señalan una importante correlación entre ambos.

En consecuencia, surge la necesidad de evaluar el poder de sujeción de los diferentes clavos como una forma de prever indirectamente su mayor o menor fijación posterior.

En esta premisa se basó el presente estudio, realizando pruebas de extracción axial de los diferentes tipos de clavos colocados en hueso cortical y esponjoso, en forma inmediata y diferida.

A fin de que las posibles variaciones surgieran de las diferentes configuraciones de clavos, tipos de rosca, etc., durante el período que duró su permanencia en los animales de experimentación los clavos no fueron sometidos a tensión alguna. Se atenuaron las influencias externas tales como el tipo de fijadores, la mayor o menor presión debida a la distancia entre la zona de contacto entre el clavo y el aparato de fijación, etcétera.

Se intentó con esta experiencia aportar un mayor conocimiento sobre el tipo de clavo roscado ideal para hueso cortical y esponjoso, de acuerdo con la respuesta de la interfase hueso-clavo medida en función de las diferencias de fuerzas necesarias para su extracción axial inmediata y luego de 56 días de colocados.

Materiales y métodos

Animales y especímenes

El presente estudio se realizó en hueso ovino, pues considera- mos que presenta las siguientes características favorables:

- Su diámetro es adecuado para el empleo de clavos de 6 mm, ya que el hueso canino (empleado anteriormente por nosotros) presenta numerosas variaciones de diámetro y calidad, según la raza, la edad y el tamaño del animal.
- Es posible obtener lotes de animales parejos en cuanto a edad, tamaño, peso, tipo de alimentación administrada, sexo, etc.
- Es una especie más fácil de manejar.
- La mayoría de estudios similares de otros autores fueron realizados en esta especie.

Se trabajó sobre ovinos cruzados, hembras, de una edad aproximada de 2 años (dos a cuatro dientes) y 50 kg de peso, todos de un mismo rodeo, provenientes de un establecimiento sito en la provincia de Buenos Aires y alimentados con pastura natural.

Los animales fueron mantenidos durante el tiempo que duró la experiencia (29/12/96 al 23/2/97) en amplios potreros con alimentación similar, suplementada con fardos y agua *ad libitum*, permaneciendo en cobertizo durante la noche.

Fueron controlados previamente mediante los perfiles de laboratorio pertinentes (hemograma, bioquímica sanguínea, coproparasiológico, etc.).

Como hueso tipo, por razones similares a las anteriormente citadas, se utilizaron las tibias.

Invariablemente, tanto en animales vivos como en especímenes, el ingreso de los clavos se realizó por su cara anteromedial debido a que:

- Su superficie es plana, sobre todo en el nivel de sus dos tercios proximales, 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 reparados de traumatismos con elementos externos.

La totalidad de los especímenes se obtuvieron de estos animales y de ovinos similares, sacrificados recientemente, a los que despojamos de tejidos blandos y almacenamos en bolsas plásticas a -20°C. En el momento de ser utilizadas, se llevaron a temperatura ambiente en solución fisiológica.⁸

Para las experiencias en animales vivos, se siguieron las normas del National Research Council.

Clavos

Se seleccionaron los diferentes tipos y modelos de clavos a probar y se los colocó según las normas y los elementos recomendados por sus fabricantes.

Los clavos empleados fueron los siguientes (Fig. 1):

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

Técnicas de estudio

Pensamos que sería importante determinar qué sucede en el tejido cortical y en el esponjoso al extraer los clavos, no sólo inmediatamente después de colocados, sino después de transcurrido un cierto tiempo. De esta manera, se objetiva el resultado de la reacción del organismo a los diferentes modelos de clavo.

La primera parte del trabajo consistió en la selección, diseño, construcción y alistamiento de los dispositivos de medición de las fuerzas empleadas para la extracción de los clavos, en sentido axial contrario al de su colocación. Se utilizaron dos prensas para este menester:

- Una máquina construida *ad hoc* de un tamaño tal que permitiera su uso intraquirúrgico. Se la equipó con una celda de carga marca Neptuno para 300 kg conectada a un lector digital remoto (Damy Cas, modelo 150) que permite leer las fuerzas en kg.
- Otra, para el trabajo de extracción únicamente de especímenes en los que se previera una fuerza posible mayor a los 300 kg, marca Shimadzu de 1000 KN de capacidad, trabajando a una velocidad de 10 mm/minuto, facilitada por el Departamento de Mecánica del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

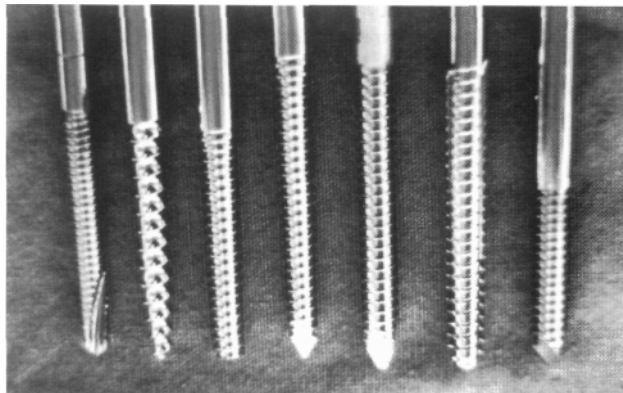


Figura 1. Clavos empleados.

Metodología experimental

El estudio continuó con las siguientes etapas.

Colocación y extracción de los clavos en especímenes

- Descongelado de los especímenes a temperatura ambiente en solución fisiológica.
- Colocación de los clavos según las normas previstas por los fabricantes de los diferentes modelos de clavos roscados utilizados. Previo a la colocación, se realizó una preperforación con mechas de 3,2 mm de diámetro para los clavos de hueso esponjoso (Orthofix), y de 4,8 mm para el resto de los clavos de hueso cortical, inclusive en los autoperforantes. Una vez realizada esta preperforación se colocaron manualmente los diferentes clavos empleando un mango de Jacobs.
- Medición de las presiones necesarias para forzar la extracción en sentido axial contrario de los diferentes clavos colocados en el hueso, tanto en cortical como en esponjosa. En los casos de clavos cónicos, por motivos obvios, la extracción se hizo en sentido inverso a su colocación. Por no ser posible la extracción de muchos de los modelos de clavos con la presión que ejerce nuestra prensa (300 kg), se recurrió en esta etapa a la Sección Mecánica del INTI. En ensayo se realizó con la prensa descrita oportunamente a una presión de 10 mm/minuto siguiendo el eje del clavo.
- Después de haber realizado una primera evaluación testigo de los resultados obtenidos en especímenes, se colocaron con técnica similar los distintos modelos de clavos en tibia de animales vivos.

Colocación en animales in vivo

Fueron empleados en esta etapa 8 ovinos en perfecto estado de salud. Ayuno previo de sólidos 48 h y 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 transcurridos 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 10 ml/kg/h

Anestesia epidural, ingresando en el espacio lumbosacro, con una solución de lidocaína al 2% con adrenalina. El clorhidrato de ketamina se repitió 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 de quedar a la vista del cirujano la cara anteromedial del miembro a trabajar.

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 la colocación de cada clavo.

Los clavos se colocaron mediante un taladro neumático a bajas revoluciones y se completó su colocación con mango de Jacobs, por roscado manual en forma perpendicular al eje longitudinal del hueso. Se dejó una separación de 4 cm entre cada uno de ellos. Cada clavo debió sobresalir de la superficie ósea opuesta por lo menos 1,5 cm, a fin de posibilitar el trabajo de extracción posterior con la prensa hidráulica; posteriormente se los cortó de manera tal que sólo sobresalieran 5 cm.

En las Figs. 2 y 3 se muestran los esquemas de distribución de los clavos en animales vivos. Su ubicación en el hueso fue alternada (salvo para los clavos de hueso esponjoso) para evitar resultados dispares debidos a las diferencias estructurales de las distintas partes óseas (Fig 3).

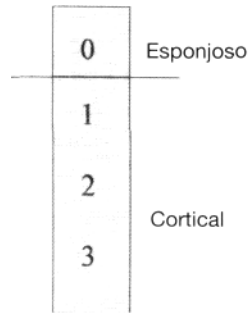


Figura 2. Ubicación de los clavos en la tibia.

Eutanasia y medición de fuerzas de extracción de los clavos

Primera fase. El día 56 fueron sacrificados los animales, se extrajeron sus tibias y se las conservó según las normas descritas. Las pruebas de extracción se llevaron a cabo a temperatura ambiente con el método ya descrito. Estas fueron realizadas en el INTI.

Segunda fase. 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.

Resultados

Se utilizaron como métodos estadísticos análisis de varianza y estudios comparativos mediante prueba *t* de Student.

En especímenes

Se extrajeron los clavos colocados en los especímenes y se midieron las fuerzas ejercidas en kg.

A fin de comparar las fuerzas necesarias para la extracción de los distintos tipos de clavos entre sí, se los agrupó como se muestra en la Tabla 1.

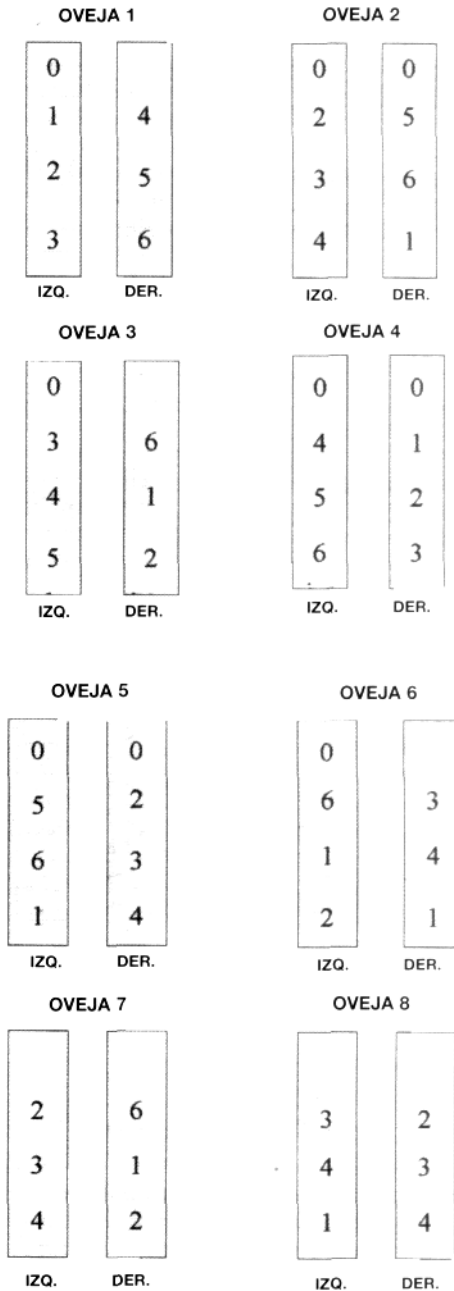
A pesar de que las fuerzas medias requeridas para extraer los diferentes clavos comparativamente mostraron diferentes resultados, mediante el análisis de varianza (realizado entre los clavos colocados en hueso cortical) se observó que no existieron diferencias significativas entre los grupos ($p = 0,0658$) (Fig. 4).

En animales vivos

Las ovejas numeradas 3 y 4 debieron ser sacrificadas el mismo día del acto quirúrgico, ya que en el momento de la recuperación anestésica sufrieron fracturas en las diáfisis tibiales.

La oveja 2 se fracturó a los 12 días de la cirugía, por lo que también fue sacrificada. El resto fue mantenido a corral durante el día con encierre nocturno.

Del total de 57 clavos colocados, se consideraron sólo 40 para realizar las mediciones, ya sea porque los animales fueron sacrificados antes de los 56 días estimados o porque en el momento de realizarlas se encontraban totalmente flojos por motivos traumáticos o ajenos al estudio.



- 0: Clavo Orthofix para hueso esponjoso.
- 1: Clavo Orthofix para hueso cortical.
- 2: Clavo Orthofix autoperforante para hueso cortical.
- 3: Clavo Zimmer.
- 4: Clavo Synthes.
- 5: Clavo Apex.
- 6: Clavo Fico (perfil simétrico) cortical.

Figura 3. Ubicación de los clavos según su tipo.

Se agruparon nuevamente los resultados para poder realizar las comparaciones, según las características de cada uno de ellos (Tabla 2).

Se realizó análisis de varianza entre los seis grupos

Tabla 1. Fuerzas requeridas para la extracción de los diferentes tipos de clavos empleados en especímenes

	Orthofix esponjoso	Orthofix cortical	Orthofix cortical autop.	Zimmer	Synthes	Apex	Fico cortical
	88	325	290	362	208	211	243
	87	305	232	159	123	241	265
	83	277	301	250	410		270
	106	354	277	320	380		378
	148	307	325	220	391		161
	135	265	251	303	485		72
	201	460	345	265	346		174
	210	314	235	450	442		198
Media	132,25	319,1	282	291	348	225,5	220.1
DE	29,38	60,15	41,3	89,55	122,2	20,51	91,03

DE = desviación estándar.

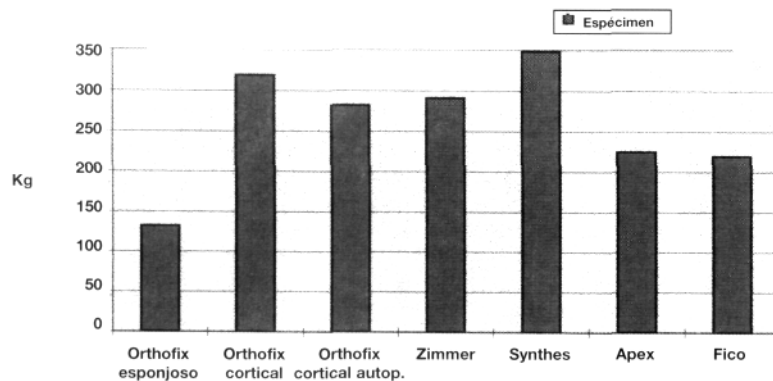


Figura 4. Fuerza media requerida para extraer los diferentes clavos (en especímenes).

de clavos colocados en hueso cortical de animales vivos en tibias de ovinos. El registro de las medias mostró cifras diferentes, pero no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos grupos ($p = 0,8922$) (Fig. 5).

Especímenes vs. animales vivos

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 homólogo colocado en animales vivos, el que se extrajo a los 56 días (Fig. 6).

Con un nivel de significación del 5%, se observó que al comparar las fuerzas requeridas para extraer los clavos Orthofix/esponjoso colocados en los especímenes con los resultados obtenidos con los mismos clavos colocados en animales vivos y midiendo las fuerzas de extracción a los 56 días de colocados, existieron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos ($p = 0,013$).

Dicha comparación se efectuó con la prueba t de Student.

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

- Prueba t de Student para clavo 1 (Orthofix cortical) en especímenes vs. clavo 1 en animales vivos, $p = 0,0879$.
- Prueba t de Student para clavo 2 (Orthofix con autop.) en especímenes vs. clavo 2 en animal vivo, $p = 0,35$.
- Prueba t de Student para clavo 3 (Zimmer) en espécimen vs. clavo 3 en animal vivo, $p = 0,413$.
- Prueba t de Student para clavo 4 (Synthes) en espécimen vs. clavo 4 en animal vivo, $p = 0,82$.
- Prueba t de Student para clavo 5 (Apex) en espécimen vs. clavo 5 en animal vivo, $p = 0,539$.
- Prueba t de Student para clavo 6 (Fico cortical) en espécimen vs. clavo 6 en animal vivo, $p = 0,08$.

Discusión

A pesar de haberse generalizado el uso de clavos roscados en los aparatos de fijación esquelética externa, existen todavía discrepancias respecto a qué característi-

Tabla 2. Fuerzas requeridas para la extracción de los diferentes tipos de clavos empleados en animales vivos

	Orthofix esponjoso	Orthofix cortical	Orthofix cortical autop.	Zimmer	Synthes	Apex	Fico cortical
Fuerza (kg)	194	398	473	188	465	570	385
	223	400	166	166	486	218	232
	164	306	286	356	145	314	419
	160	531	389	564	618	300	454
	314	443	291	247	218		471
	230	339	310	469			
				214			
				505			
Media	214,2	402,8	319,2	338,6	386,4	350,5	392,2
DE	56,8	79,4	103,9	156,8	197,7	152,3	95,48

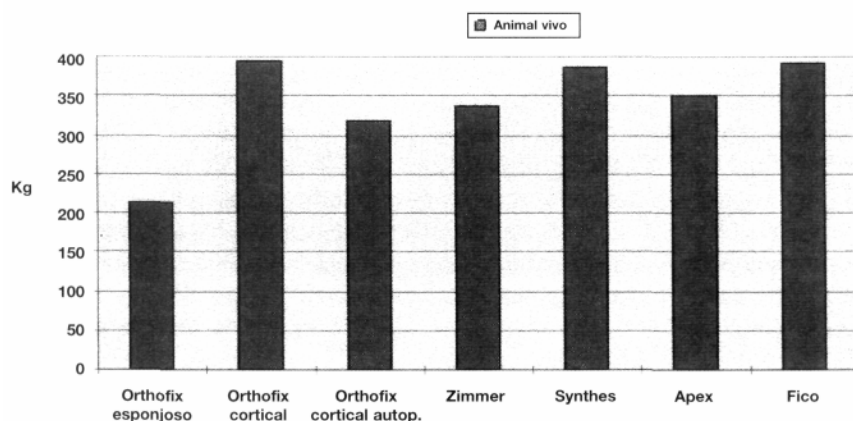


Figura 5. Fuerza media requerida para extraer los diferentes modelos de clavos a los 56 días de colocados en ovinos (tibias).

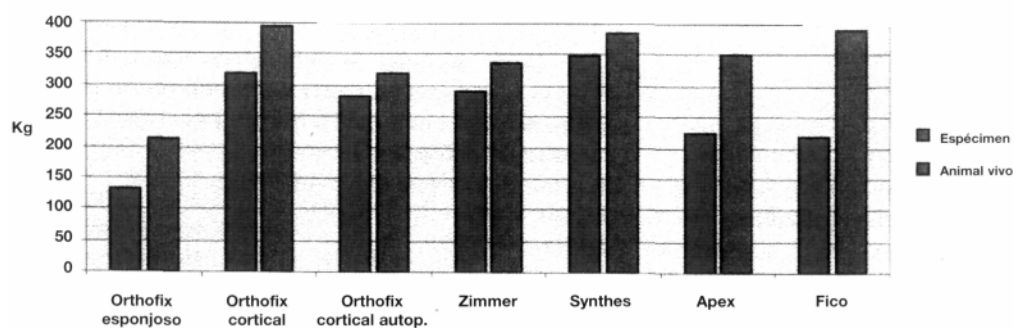


Figura 6. Se compara la fuerza requerida para extraer cada tipo de clavo colocado en los especímenes con respecto a los animales vivos.

ca intrínseca o extrínseca debe poseer un clavo para adaptarse mejor al hueso donde es insertado.

Las pruebas de extracción permiten el análisis de los efectos de varios de los diseños característicos de roscas. Aparentemente, la fuerza necesaria para la extracción de los implantes roscados está relacionada con la integridad de la interfase hueso-implante. A su vez, esta integridad estaría condicionada por: la calidad del hueso a tratar, la composición y confección del implante, el traumatismo

producido durante su colocación y el efecto de la preperforación.

De acuerdo con nuestros resultados, el diseño de la rosca y el de la forma del clavo podrían no tener influencia decisiva en la calidad del amarre, así como es discutible la que tendría su posición de ataque en el hueso para generar o no aflojamiento (perpendicular u oblicua con respecto al eje mayor).

Halsey⁴ evaluó que la mayor estabilidad de los clavos

roscados sometidos a diferentes fuerzas de extracción se logra con una buena interferencia, es decir, una adecuada diferencia entre el tamaño mayor y menor de las espiras de la rosca. Afirma que no existen en sus comprobaciones diferencias significativas en cuanto al perfil y al paso. Todas sus pruebas fueron realizadas en especímenes colocando clavos en hueso esponjoso. Al actuar sobre hueso muerto no pudo tener en cuenta la reacción ósea inmediata y mediata que cada tipo de colocación posee sobre el hueso vivo.

Tal como afirman Trueta y cols.,¹⁰ el tejido óseo siempre actuaría siguiendo las leyes biomecánicas de Wolf.

En nuestro estudio no observamos diferencias estadísticamente significativas entre la colocación y extracción de los clavos en hueso cortical y esponjoso. Es importante dejar en claro que los insertados en hueso esponjoso poseían diferencias estructurales en cuanto al diseño (Orthofix para hueso esponjoso), tal como mayor peso e interferencia, con respecto a los clavos hechos para el hueso cortical.

Dejamos constancia de esto, ya que no fue efectuada la contraprueba. Es decir, colocar y extraer un clavo diseñado para otro hueso. Tal sería el caso de un clavo esponjoso insertado en hueso cortical y viceversa.

Wagner¹¹ y Perren,⁹ en dos diferentes estudios, recomiendan el uso de roscas profundas y anchas para el hueso esponjoso. Sin embargo, por esta investigación pudimos observar que no existen, por el momento, diferencias importantes en cuanto al poder de amarre del clavo con rosca para cortical o esponjoso.

Lavini y cols.⁷ analizan las características del clavo ideal para la fijación externa. Remarcan el recurso del preperforado ideal para cada clavo en particular, facilitando así su correcto amarre. Además, consideran que han sido muy poco investigadas las reacciones fisicoquímicas entre el clavo, el hueso y los tejidos blandos. Sin embargo, las investigaciones realizadas por Bechtol y cols, determinaron que al analizar independientemente el tamaño del orificio del preperforado no se hallaron efectos importantes sobre la calidad de fijación.

En nuestro estudio, el diámetro del orificio piloto fue de 3,2 mm y 4,8 mm para clavos de tejido esponjoso y cortical, respectivamente. Estos eran los diámetros aconsejados por los fabricantes de clavos de 6 mm. Si bien no hubo diferencias entre los diferentes clavos, ignoramos si éste es realmente el preperforado óptimo para lograr el máximo amarre o sólo se trata de una opinión comercial.

Es importante destacar que en nuestro estudio no encontramos variaciones en la fijación de los clavos respecto del tiempo de permanencia en el hueso.

A diferencia de Bennett y cols.,¹ nuestros resultados mostraron que la fuerza requerida para extraerlos, luego de casi dos meses de colocados y sin ser sometidos a carga alguna, era prácticamente similar a la necesaria para extraerlos en el mismo momento de ser implantados.

Nuestras cifras no mostraron diferencias estadísticamente significativas en el resultado de las pruebas.

Existe evidencia que sugiere que la resorción en respuesta a una excesiva tensión, podría potencialmente modificarse y formar una interfase hueso-clavo funcional.⁶

Los espacios microscópicos entre las roscas de los implantes son invadidos por células migrantes indiferenciadas. En ausencia de movimiento, las células muestran diferenciación osteogénica con marcada proliferación de hueso que madura en aproximadamente cuatro semanas, alcanzando máximo de resistencia a las seis. Si durante ese tiempo dicha interfase es cargada excesivamente, las células se diferenciarán en osteoclastos y fibroblastos, que conducirán a la formación de tejido fibroso y cartilaginoso, con resorción ósea final.

El trabajo de Zarubi y cols.¹² sustenta esta idea. Ellos estudiaron el comportamiento de dos grupos de clavos sometidos a fuerzas de extracción: uno, sometido a carga durante 20 días antes de realizar las extracciones, el otro, usado como testigo. En este último grupo los implantes se colocaron en las tibias contrapuestas sin ser sometidos a carga alguna, salvo la originada por el peso del propio clavo. Las evaluaciones histológicas determinaron una mayor proliferación ósea alrededor de los clavos no sometidos a carga. Esto significaría que una de las causas más importantes del aflojamiento de los implantes durante su permanencia en el hueso estaría determinada por el trabajo que éste debe soportar.

Numerosos estudios evaluaron la desadaptación de los implantes, pero no existe una respuesta definitiva al exacto mecanismo de desadaptación. La falla en la interfase clavo-hueso se atribuye entonces a fallas mecánicas locales, necrosis térmica, micromovimientos inducidos por el fenómeno de resorción ósea, infección, o a una combinación de estos factores.³

Es de destacar que, invariablemente, los autores observaron una gran proliferación de tejido en la periferia de los orificios, que evidentemente el organismo emplea para mejorar la fijación del clavo. Esto indicaría que, aun sin presión, existe un alto grado de inestabilidad en la interfase hueso-clavo. Al detectarla, el organismo induce la proliferación ósea para reemplazar el tejido cortical muerto con una mayor cantidad de tejido más blando. En la medida que se consigue estabilidad, se posibilita una mayor irrigación de este tejido que, por presencia de mayor cantidad de oxígeno, muta de fibroso a cartilaginoso y posteriormente a óseo.

Conclusiones

Podría suponerse que, en la medida que la presión generada alrededor de los clavos en cualquier fijador externo pueda repartirse en una mayor cantidad de tejido óseo, la reacción osteolítica disminuye y la fijación va a ser mayor. Esto podría conseguirse aumentando el núme-

ro de clavos que soporten las presiones y/o cambiando ciertos parámetros en la conformación de los mismos.

Según nuestros resultados, pensamos que la mayor o menor fuerza de amarre de los clavos depende fundamentalmente del tipo de tejido que se genera alrededor de sus roscas. Este será óseo si el movimiento es escaso. Si, por el contrario, soportan grandes fuerzas de tensión, resultará un tejido de menor resistencia y con menor fuerza de fijación.

Si sumamos nuestra experiencia a la de otros autores, los fenómenos de dinamización descritos para los fijadores externos deberían estudiarse teniendo en cuenta, indudablemente, su acción sobre la interfase hueso-clavo.

De acuerdo con el efecto del masaje óseo, todas las variables de dinamización y la configuración espacial del

tutor tendrían efectos directos sobre la patología ósea a tratar, pero siempre actuando en desmedro del sistema de unión entre el hueso y el clavo.

Podrían así explicarse los fenómenos de osteolisis y las infecciones reiteradas, independientemente de la forma y tipo de tutor externo utilizado, pero directamente relacionado con la exigencia solicitada a la estructura.

Agradecimientos

A la señora Kathy Ann Koralek de la empresa Orthofix por la provisión de los clavos de diferentes procedencias. Al señor Raúl Carbonel de la empresa FICO por la provisión de sus clavos.

Referencias bibliográficas

1. **Bennett, A; Egger, E; Histan, M, y Ellis, A:** Comparison of the strength and holding power of 4 pin designs for use with half pin (type I) external skeleton fixation. *Vet Surg*, 16(3): 207-211, 1987.
2. **Briggs, B. Chao:** The mechanical performance of the Standard Hoffman-Vidal External Fixation Apparatus. / *Bone Joint Surg*, 64 A: 566, 1982.
3. **Clary, E, y Roe, S:** Enhancing external skeletal fixation pin performance: Consideration of the pin-bone interface. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 1-8, 1995.
4. **Halsey, D; Fleming, B; Pope, M:** External Fixation Pin Desing: *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 278,305-312, 1992.
5. **Holshaw, S; Schaffler, M; Fyhrrie, D:** Effect of tread desing on microdamage creation in cortical bone: *In: Proc. of the 40 th Orthop. Res. Soc.*, 537.1994.
6. **Ilizarov, G:** Clinical application of the tension-stress effect of limb lengthening. *Clin Orthop Rel Res*, 250: 8-26, 1990.
7. **Lavini, L; Renzi Brivito, L, y Leso, P:** *The Second Riva Congress. Abstract Book*; 86-87, 1992.
8. **Matthew, LS, y Kirsch, C:** Temperature measured in human cortical bone when drilling. *J Bone Joint Surg*, 54A: 297, 1972.
9. **Perren, SM:** Physical and biological aspects of fractures healing with special references to internal fixation. *Clin Orthop* 138: 175, 1979.
10. **Trueta, J, y Little, K:** The vascular contribution to osteogenesis. Study with the electron microscope. *J Bone Joint Surg*, 42B: 367, 1960.
11. **Wagner, H:** Die einbettung von metalschrauben in knochen und die Heilungs furange des knochengewhes unter dem einfluss der stabilen osteosynthese. *Langenbecks Arch Chir*, 305: 38, 1963.
12. **Zaruby, J; Hurtig, M; Finlay, J, y Valliant, A:** The effect of external fixator pin geometry and dynamic loading on bone remodelling at the pin-bone interface (PBI), an in vivo sheep tibia model. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 8: 9-19, 1995.