

## Estudio experimental comparativo sobre la resistencia de distintos implantes, sometidos a carga, aplicadas a la variedad fractura-separación del platillo tibial externo\*

Dres. GUSTAVO M. MURASE, PABLO A. AZCOAGA, SERGIO J. MARKAUSKAS,  
LISANDRO C. CHIAVASSA, JORGE LOBO,  
FEDERICO BREA, GERARDO D. GARCÍA CAMPOS\*\*

### INTRODUCCIÓN

La disparidad de criterios sobre la elección del implante apropiado para el tratamiento de fracturas del platillo tibial externo se basa en la variedad existente de las mismas como alternativas terapéuticas válidas para un mismo patrón fracturario. Motivados por ello, los Residentes del Servicio de Ortopedia y Traumatología de este Hospital nos abocamos a realizar el presente estudio, pretendiendo brindar datos acerca de la resistencia de los implantes sometidos a solicitaciones biomecánicas, reproducibles experimentalmente.

### OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es establecer el grado de estabilidad y resistencia que ofrecen los distintos tipos de osteosíntesis, en la resolución de fracturas-separación del platillo tibial externo.

### MATERIAL Y MÉTODO

Se utilizaron para el presente trabajo 9 especímenes de hueso cadavérico desecado (todos ellos seleccionados en base a la comparación de su arquitectu-

ra ósea evaluada radiográficamente con técnica estándar, y a la integridad de su morfología), 6 derechos y 3 izquierdos, y un grupo testigo en igual número, de modelos artificiales (todos ellos derechos). Posteriormente se adicionaron 3 piezas de cadáveres frescos (todos derechos).

Cada pieza ósea desecada recibió idéntica preparación, constando la misma de 3 períodos: limpieza, desecación y revestimiento homogéneo con lacas sintéticas.

En relación con la utilización de material plástico, su uso obedece al hecho de poder contar con piezas de estructura y resistencias iguales, que permitan eliminar factores de error (insalvables con el uso de piezas óseas) al momento de evaluar la resistencia del material utilizado.

Las piezas óseas frescas fueron obtenidas en la morgue de nuestro hospital, de miembros recién amputados, tratándose las luego con formol hasta su estudio.

Sobre cada uno de estos modelos, un único cirujano reprodujo el mismo trazo fracturario, estando situado en el platillo tibial externo, por fuera de las espinas, con una inclinación de 95° de externo a interno, contando para ello con una sierra oscilante con hoja laminar.

Se utilizaron como material de osteosíntesis: clavijas, tornillos de cortical de 4,5 mm de diámetro, tornillos maleolares de 4,5 mm de diámetro, tornillos de esponjosa de 6,5 mm de diámetro de rosca parcial y total, bulones y placa de soporte.

Todas las osteosíntesis fueron realizadas por un mismo ortopedista. La elección de las distintas combinaciones de osteosíntesis obedeció a la frecuencia diaria de su empleo en la resolución quirúrgica de este tipo de fracturas.

---

\* Premio Accésit en la XII Mesa de Residentes de la AAOT, titulada "Fracturas de la articulación de la rodilla".

\*\* Servicio de Ortopedia y Traumatología, Hospital Interzonal de Agudos "Evita", Provincia de Buenos Aires.

**CUADRO 1**  
**COMBINACIÓN DE OSTEOSINTESIS**

Piezas	Clavijas	T. cortical	T. maleolar	T. esponjosa c/rosca		Bulones	Placa
				Parcial	Total		
I	1	2					
II	3						
III		1				1	
IV						2	
V		3	1	1			1
VI					2		
VII		2					
VIII	2	1					

Las distintas combinaciones se realizaron simultáneamente tanto en hueso cadavérico como en el grupo testigo, con idéntica técnica y ubicación en cada uno de ellos.

Las sollicitaciones mecánicas a las que fueron sometidas las piezas se realizaron con una prensa hidráulica AMSLER, de 30 toneladas de capacidad, utilizando según los resultados observados escalas de 300 kg máximo con sensibilidad de 1 kg y escalas de 1.000 kg con sensibilidad de 5 kg (Figura 1).

Las escalas utilizadas para evaluar los resultados fueron: la milimétrica (para mensurar desplazamientos) y la kilocompresión (para mensurar la fuerza ejercida).

Para el logro de una distribución homogénea de las fuerzas de compresión se confeccionaron bases para cada pieza en particular con material de resinas epoxi de alta resistencia.

Para adecuar cada modelo a las exigencias de la prensa debieron realizarse cortes a nivel de la diáfisis,



Fig. 1. Prensa hidráulica AMSLER, de 30 toneladas de capacidad (gentileza del Departamento de Estructuras y Materiales, Facultad de Ingeniería, UBA).

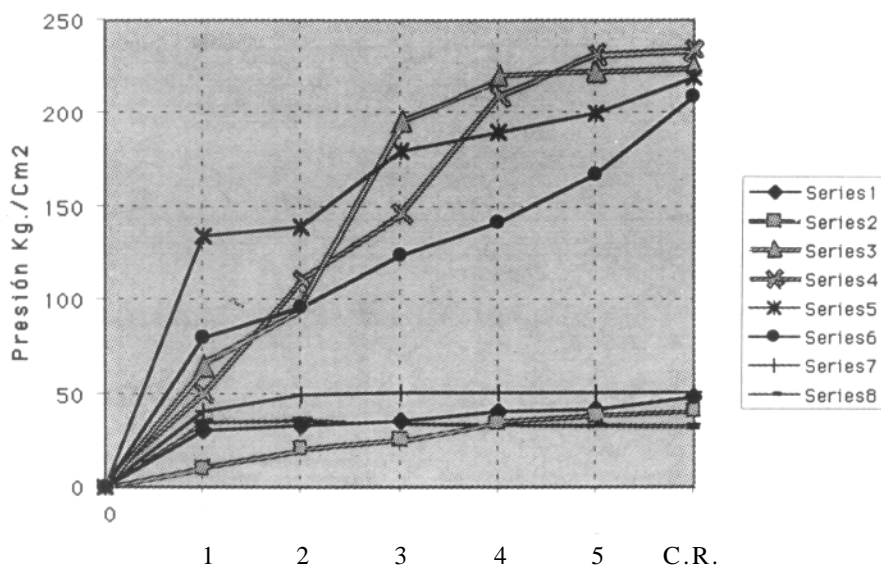


Gráfico 1. Material plástico. Relación desplazamiento/fuerza aplicada. I) 2T. Cortical, 1 clavija. II) 3 clavijas. III) 1 bulón, 1 T. Cortical. IV) 2 bulones. V) Placa c/3 T. Cortical, 1 T. Maleolar, 1 T. esponjosa. VI) 2 T. Esponjosas, Rosca total. VII) 2 T. Cortical. VIII) 2 Clavijas, 1 T. Cortical.

a una distancia de 20 cm de las superficies articulares proximales, con una inclinación paralela a la base de apoyo del platillo a comprimir.

La fase experimental del presente trabajo se realizó bajo la supervisión de los responsables del Departamento de Estructuras y Materiales, perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

Cada pieza fue montada sobre su molde respectivo, centrada en la línea de compresión axial de la prensa y sometida posteriormente a presiones crecientes; se tomó registro de los desplazamientos observados, de la aparición de nuevos trazos fracturados y de la compactación del material esponjoso, todo ello relacionado con los distintos kilogramos de presión aplicada.

En todos los casos se tomaron radiografías de las piezas previa y posteriormente a la prueba realizada.

## RESULTADOS

### Material plástico (Gráfico 1)

A) Se llegó al primer milímetro de desplazamiento con (Gráfico 2):

Diez kg para 3 clavijas; 30 kg para 2 tornillos de cortical y una clavija, y para 2 tornillos de cortical; 40 kg para 2 clavijas y un tornillo de cortical; 50 kg para 2 bulones; 65 kg para un bulón y un tornillo de cortical; 80 kg para 2 tornillos de esponjosa rosca total; y 135 kg para la placa.

B) Los desplazamientos en el rango de 1 a 2 mm se produjeron bajo la siguiente carga:

Veinte kg para 3 clavijas; 33 kg para 2 tornillos de cortical y una clavija; 40 kg para 2 tornillos de cortical; 50 kg para 2 clavijas y un tornillo de cortical; 97 kg para 2 tornillos de esponjosa; 100 kg para un tornillo de cortical y un bulón; 110 kg para 2 bulones y 140 kg para la placa.

C) Los desplazamientos en el rango de 2 a 3 mm se produjeron con la siguiente carga:

Veinticinco kg para 3 clavijas; 31 kg para 2 tornillos de cortical y una clavija; 52 kg para 2 tornillos de cortical; 125 kg para 2 tornillos de esponjosa; 147 kg para 2 bulones; 180 kg para la placa; y 195 kg para un tornillo de cortical y un bulón.

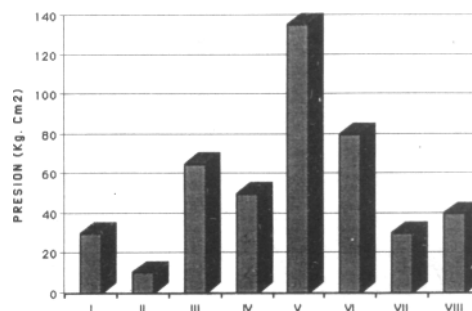


Gráfico 2. Material plástico. Resistencia al desplazamiento de 1 mm.

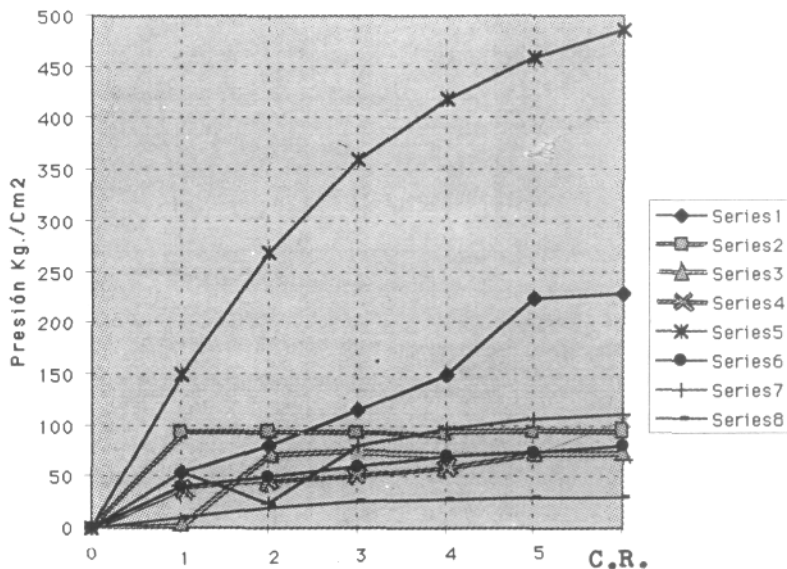


Gráfico 3. Hueso desecado. Relación fuerza aplicada hasta la caída de la resistencia. D) 2 T. Cortical, 1 clavija, u) 3 clavijas. III) 1 bulón, 1 T. Cortical. IV) 2 bulones. V) Placa c/3 T. Cortical, 1 T. Maleolar, 1 T. esponjosa. VI) 2 T. Esponjosas, Rosca total. VII) 2 T. Cortical. VIII) 2 Clavijas, 1 T. Cortical.

Se desprende de estos datos que en estos modelos la pieza con placa y tornillos demostró ser la más resistente al primer milímetro de desplazamiento. Se observa también que, a diferencia del modelo anterior, los casos resueltos con clavijas demostraron ofrecer la menor resistencia al desplazamiento bajo iguales condiciones y valores de carga.

En cuanto a la relación entre presión continua y caída de la resistencia total, independientemente de las cifras de desplazamiento, las piezas resueltas con bulones demostraron ser las más tolerantes.

En un punto intermedio se encuentran los tornillos, de los cuales aquellas piezas resueltas con tornillos de esponjosa ofrecieron mayor resistencia al primer milímetro de desplazamiento, así como también necesitaron mayor presión hasta llegar a la caída de la resistencia total, en relación a piezas resueltas con tornillos de cortical.

### Material óseo desecado

A) Se llegó al primer milímetro de desplazamiento con (Gráfico 3):

Cinco kg para un bulón y un tornillo de cortical, y para 2 tornillos de cortical; 10 kg para 2 clavijas y un tornillo de cortical; 40 kg para 2 bulones y para un tornillo maleolar y uno de esponjosa; 55 kg para una clavija y 2 tornillos de cortical; 94 kg para 3 clavijas; 150 kg para la placa.

B) Los desplazamientos en el rango de 1 a 2 mm se produjeron bajo la siguiente carga:

Veinte kg para 2 clavijas y un tornillo de cortical; 25 kg para 2 tornillos de cortical; 45 kg para 2 bulones; 50 kg para un tornillo maleolar y uno de esponjosa; 70 kg para un bulón y un tornillo de cortical; 115 kg para 2 tornillos de cortical y una clavija; y 270 kg para la placa.

C) Los desplazamientos en el rango de 2 a 3 mm se produjeron bajo la siguiente carga:

Veintisiete kg para 2 clavijas y un tornillo de cortical; 50 kg para dos bulones; 60 kg para un tornillo de esponjosa y uno de cortical; 74 kg para un bulón y un tornillo de cortical; 80 kg para dos tornillos de cortical y una clavija.

Al igual que lo ocurrido con el modelo sintético, la pieza resuelta con placa y tornillos demostró ser la más resistente hasta alcanzar el primer milímetro de desplazamiento.

Las piezas que cedieron con menor presión fueron aquellas en las que se utilizaron: dos tornillos de cortical, un bulón y un tornillo de cortical y dos clavijas y un tornillo de cortical respectivamente.

En cuanto a la relación entre presión continua y caída de la resistencia total, sin considerar los distintos desplazamientos, las piezas resueltas con: placa y tornillo, dos tornillos de cortical y una clavija, en ese orden, fueron las que soportaron mayor carga.

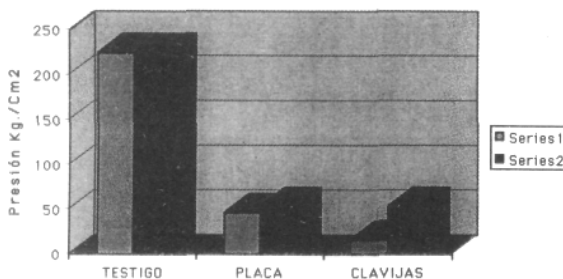


Gráfico 4. Relación desplazamiento del primer milímetro/caída de la resistencia. Carga aplicada.

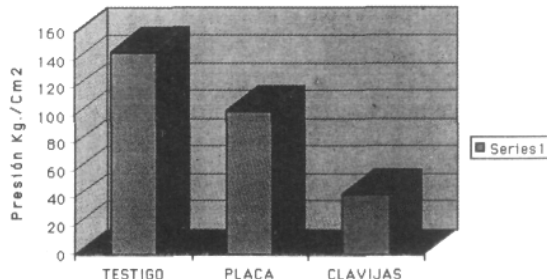


Gráfico 5. Relación presión/desplazamiento del primer milímetro (promedio de testigos, placas y clavijas).

Lograron un punto intermedio de resistencia (máximo hasta 112 kg, mínimo desde 74 kg) aquellas piezas en las cuales se utilizó: dos tornillos de cortical (112 kg), dos bulones (105 kg), dos tornillos de esponjosa (80 kg) y un bulón y un tornillo de cortical (74 kg).

El modelo óseo resuelto con tres clavijas solamente logró un alto margen de resistencia inicial (95 kg), tras lo cual se produjo la pérdida total de reducción, cayendo la resistencia en forma completa.

Se realizaron gráficos que representan los promedios de resistencia media entre material óseo desecado y plástico, según la osteosíntesis utilizada, tanto al primer milímetro de desplazamiento como a la caída de resistencia total respectivamente (Gráfico 4, 5 y 6).

En la fase final de nuestro trabajo, y basándonos en los resultados hallados, decidimos someter a una nueva prueba a los implantes más y menos resistentes, siendo ellos la placa con tornillos y las clavijas respectivamente, para los cuales también ofrecimos una pieza testigo. Es así que con material óseo de cadáveres frescos confeccionamos tres piezas a evaluar. Sobre dos de ellas reproducimos el mismo trazo fracturario usado hasta ahora; la pieza restante permanecía intacta como testigo.

Se realizó osteosíntesis con placa y tornillos en una y con clavijas en número de tres sobre la pieza última. Las tres piezas fueron sometidas, en iguales condiciones que los modelos previos, a presión graduable constante, obteniéndose los siguientes resultados:

A) Desplazamientos de hasta un milímetro se lograron con las siguientes presiones:

Cuarenta y siete kg para la placa con tornillos; 16 kg para las clavijas; 225 kg para la pieza testigo (logrado el primer desplazamiento se observa caída total y progresiva de la resistencia).

B) Con las siguientes cargas se lograron desplazamientos en el rango de uno a dos milímetros:

Cuarenta y ocho kg para la placa con tornillos; 25 kg para las clavijas.

C) Con las siguientes cargas se lograron desplazamientos en el rango de dos a tres milímetros:

Cincuenta kg para la placa y 30 kg para las clavijas.

En cuanto a la relación presión aplicada y caída de la resistencia total, observamos que llegados a los 54 kg, tanto la placa como las clavijas cedían por completo, en tanto que el testigo lo hacía una vez alcanzados los 225 kg.

Evaluadas comparativamente estas tres piezas se desprende que el resultado hallado es el de esperar según los principios de osteosíntesis vigentes; sin embargo, cuando se comparan estos resultados con los hallados en los equivalentes plásticos y óseos desecados, es cuando encontramos algunos datos de interés, a saber:

—En cuanto a las piezas resueltas con placas y tornillos se observó como la de mayor resistencia la colocada en hueso desecado, siguiéndole la pieza plástica y por último la ósea fresca.

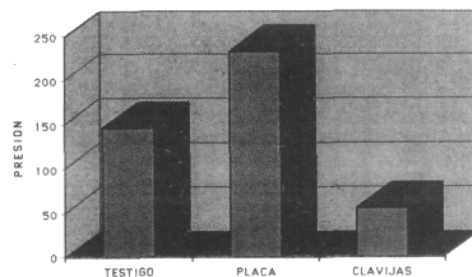


Gráfico 6. Relación presión/caída de la resistencia total (promedio de testigos, placas y clavijas).

—En cuanto a las piezas resueltas con clavijas solamente, observamos que las colocadas en piezas óseas desecadas se muestran, al igual que en el caso previo, como las más resistentes, siguiéndole en orden hueso fresco y plástico respectivamente.

—En relación con los testigos, contrariamente a los resultados previos, se ofreció como más resistente la pieza ósea fresca, sucediéndole en orden la pieza plástica y por último la ósea desecada.

Dichos resultados surgen de la evaluación del gráfico presión/primer milímetro de desplazamiento, relación que consideramos de mayor relevancia clínico-terapéutica dadas las implicancias fisiopatológicas que la presencia de dicho desplazamiento trae aparejado.

Se realizaron gráficos para relacionar presión aplicada con caída de la resistencia total, cuyos resultados fueron los siguientes:

En el caso de placa y tornillos la resistencia mayor la ofreció la pieza ósea desecada, siguiéndole la pieza plástica y por último la ósea fresca.

En el caso de piezas resueltas con clavijas, resistió, al igual que con la placa, la pieza ósea desecada; y a diferencia de lo anterior, la osteosíntesis en plástico fue la de menor resistencia.

De la evaluación resultante de los promedios entre piezas plásticas, óseas desecadas y óseas frescas, resueltas con igual técnica y método, se desprende que de la relación presión/primer milímetro de desplazamiento, se ofrecen como más resistentes los testigos, siguiéndoles en orden las resueltas con placa y tornillos y clavijas respectivamente.

En cuanto a la relación presión/caída de la resistencia total, las piezas resueltas con placas mostraron ser las más resistentes, siguiéndoles los testigos y las clavijas, en ese orden.

## CONCLUSIONES

A mayor número de implantes usados y cuanto mayor y mejor sea la presa que hagan de regiones anatómicas indemnes, mayor será el grado de estabilidad lograda.

La resistencia al desplazamiento bajo carga, lograda con el implante, es directamente proporcional al número de corticales tomadas.

Las osteosíntesis que solamente se fijan en el hueso metafisario esponjoso ofrecen menor resistencia dada la configuración de la zona en cuestión.

La placa ha resultado ser la osteosíntesis que más carga soporta hasta la aparición de escalones inaceptables clínicamente.

La cortical externa distal al trazo fracturario se ofrece como soporte adicional al implante aplicado, aumentando el grado de resistencia a los desplazamientos; siendo la placa, por su adaptabilidad a la anatomía ósea, la que mejor permite mantener la continuidad del arbotante.

Las clavijas, por ser una osteosíntesis elástica, si bien ofrecen una caída de la resistencia tardía a lo esperable, permiten un desplazamiento inicial precoz, siendo por lo tanto inaceptables como opción terapéutica para este tipo de patología.

## Agradecimientos

*Agradecemos la cooperación brindada por los Servicios de Diagnóstico por Imágenes y Anatomía Patológica de nuestro hospital, y de los ingenieros De Luca, Patagliese y Caraffi, del Departamento de Estructuras y Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, sede Las Heras.*

## BIBLIOGRAFÍA

1. Apley G: Fractures of the tibial plateau. *Orthop Clin North Am* 1979; 10: 61-74.
2. Bistolfi S: Contributo allo studio del meccanismo delle fratture monocondyloidee della tibia da causa indiretta. *Chir Organi Mov* 1931; 16: 451.
3. Blokker CP, Rorabeck CH, Bourne RB: Tibial plateau fractures. An analysis of the results of treatment in 60 patients. *Clin Orthop* 1984; 182:193-199.
4. Gualtieri G, Hendriks M, Gualtieri I et al: Fracture of the tibial plateau: results of surgical treatment. *Chir Organi Mov* 1989; 74 (1-2): 13-20.
5. Insall J: Tibial plateau fractures. *Surgery of the knee*. Churchill-Livingstone, Edinburgh, 1984; pp 449-490.
6. Kennedy JC, Bailey WH: Experimental tibial plateau fractures. Studies of the mechanism and a classification. *J Bone Jt Surg* 1968; 50-A: 1522-1535.
7. Lachiewicz PF, Funcik T: Factors influencing the results of open reduction and internal fixation of tibial plateau fractures. *Clin Orthop* 1990; 259: 210-215.
8. Rasmussen PS: Tibial condylar fractures: impairment of knee joint stability as an indication for surgical treatment. *J Bone Jt Surg* 1973; 55-A: 1311-1350.
9. Segal D, Mallik AF: Early weight bearing of lateral tibial plateau fractures. *Clin Orthop* 1993; 294:232-237.
10. Stokel EA, Sadasivan KK: Tibial plateau fractures: standardized evaluation of operative results. *Orthopedics* 1991; 14 (3): 263-270.
11. Tscherne H, Lobenhoffer P: Tibial plateau fractures: management and expected results. *Clin Orthop* 1993; 292: 232-237.
12. Vandenberghe A, Cuypers L: Internal fixation of tibial plateau fractures using the AO instrumentation. *Acta Orthop Belg* 1990; 56 (2): 431-442.