



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO DE SONORA
DR. ERNESTO RAMOS BOURS

T E S I S

**MINI FIJADOR EXTERNO COMO TRATAMIENTO PARA FRACTURAS DE
FALANGES: ESTUDIO BIOMECÁNICO**

QUE PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD DE ORTOPEDIA

PRESENTA:
Daniel Alejandro de la Vega Ramírez

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DAVID LOMELI ZAMORA
Hospital General del Estado de Sonora "Ernesto Ramos Bours"
CODIRECTOR DE TESIS: JUAN PABLO CONTRERAS FELIX
Hospital General del Estado de Sonora "Ernesto Ramos Bours"
COMITÉ TUTOR: NOHELIA G. PACHECO HOYOS
Hospital General del Estado de Sonora "Ernesto Ramos Bours"

Hermosillo Sonora; Julio 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FIRMAS DE AUTORIZACIÓN DEL COMITÉ DIRECTIVO DE TESIS

Los presentes hemos revisado el trabajo del médico residente de cuarto año Daniel Alejandro de la Vega Ramírez y lo encuentran adecuado para continuar con su proceso de titulación para obtener su grado de médico especialista en ortopedia.



David Lomelí Zamora

Tutor principal

Hospital General del Estado de Sonora "Ernesto Ramos Bours"



Juan Pablo Contreras Felix

Codirector

Hospital General del Estado de Sonora "Ernesto Ramos Bours"



Nohelia G. Pacheco Hoyos

Miembro del comité tutorial

Hospital General del Estado de Sonora "Ernesto Ramos Bours"

Hermosillo, Sonora a 19 de julio de 2019

LIBERACIÓN DE TESIS

La División de Enseñanza e Investigación del Hospital General del Estado de Sonora Dr. Ernesto Ramos Bours, hace constar que realizó la revisión del trabajo de tesis del médico residente: **DANIEL ALEJANDRO DE LA VEGA RAMÍREZ**; cuyo título es: **"MINI FIJADOR EXTERNO COMO TRATAMIENTO PARA FRACTURAS DE FALANGES: ESTUDIO BIOMECÁNICO"**. Con base en los lineamientos metodológicos establecidos por el Hospital General del Estado "Dr. Ernesto Ramos Bours," se considera que la tesis reúne los requisitos necesarios para un trabajo de investigación científica y cumple con los requerimientos solicitados por la Universidad Nacional Autónoma de México. Por lo tanto, la División de Enseñanza e Investigación acepta el trabajo de tesis para ser sustentado en el examen de grado de especialidad médica; aclarando que el contenido e información presentados en dicho documento son responsabilidad del autor de la tesis.

ATENTAMENTE



DR. MAURICIO BELTRÁN RASCÓN
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ENSEÑANZA E
INVESTIGACIÓN
HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO



M en C. NOHELIA G. PACHECO
COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
DIVISIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO



C.c.p. Archivo
NGPH



Hospital General
del Estado
Dr. Ernesto Ramos Bours

Unidos logramos más

Blvd. Luis Encinas Johnson S/N Colonia Centro
Hermosillo, Sonora. Tels. (662) 2592501, 2592505
www.saludsonora.gob.mx

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A la Secretaria de Salud del Estado de Sonora

A mi sede de trabajo, el Hospital General del Estado de Sonora “Dr. Ernesto Ramos Bours”

A los miembros del comité de tesis por su valioso tiempo y dedicación

DEDICATORIA

A mi familia José Armando, Enriqueta y Julio Armando

ÍNDICE

1. Resumen.....	6
2. Introducción.....	8
3. Planteamiento del problema.....	9
4. Justificación.....	9
5. Objetivo.....	10
5.1. Objetivo General.....	10
5.2. Objetivo Particular.....	10
6. Hipótesis científica.....	11
7. Marco teórico.....	12
8. Materiales y Metodo.....	19
8.1. Diseño del estudio.....	19
8.2. Población.....	19
8.3. Criterios de muestreo y elección del tamaño de muestra.....	19
8.4. Criterios de selección.....	19
8.4.1. Criterios de inclusión.....	19
8.4.2. Criterios de exclusión.....	19
8.5. Descripción metodológica del estudio.....	20
8.6. Categorización de las variables según metodología.....	23
8.7. Análisis de datos.....	23
8.8. Recursos empleados.....	24
8.8.1. Recursos humanos.....	24
8.8.2. Recursos físicos.....	24
8.8.3. Recursos financieros.....	25
9. Aspectos éticos de la investigación.....	26
10. Resultados y discusión.....	28
11. Conclusiones.....	31
12. Bibliografía.....	32
13. Anexos.....	33

1. RESUMEN

Introducción

Las fracturas de las falanges son de las lesiones más frecuentes atendidas en los servicios de urgencias, encontrándose entre el 14% y el 28% de todas las lesiones. Las fracturas de las falanges representan el 46% de las fracturas de la mano. El fijador externo en distracción se encuentra bien descrito como una opción de tratamiento de las fracturas del pilón de la articulación interfalángica proximal. Los fijadores externos existentes no cuentan con estudios biomecánicos y no consideran la zona de seguridad en la colocación de los clavos Kirschner, además de que pueden llegar a ser incómodos para el paciente.

Métodos

Se diseñó un fijador externo compuesto por una barra roscada de 3mm x 50mm y mediante 2 arandelas de 15mm de diámetro y dos tuercas hexagonales 6/32. En modelo cadavérico se realiza un corte transversal diafisario sobre la diáfisis de la falange y se colocan dos clavillos Kirschner 0.045 de cada lado de fractura entrando en zonas de seguridad de forma convergente. Se doblan y son sujetados con arandelas y tuercas. Fueron introducidos de forma lateral dos clavillos de Kirschner marcados con tinta en la punta para medir el desplazamiento final. Se diseñó un dispositivo de cuatro puntos automatizado a 2000 ciclos en el cual el constructo se somete a cargas cíclicas con una fuerza de 21 N.

Resultados

La prueba biomecánica se realiza en ocho constructos en los cuales en seis no se tuvo desplazamiento y dos pruebas se obtuvo un desplazamiento de 1mm dando un promedio de 0.25mm de desplazamiento.

Conclusiones

Se comprobó que este dispositivo es estable, y adecuado para fracturas de falange, La prueba se realizó con cuatro veces la fuerza necesaria por lo que, no solo el fijador puede ser sometido a cargas fisiológicas, si no que puede ser sometido a fuerzas mayores como las utilizadas en el aparato de flexión activa de contraresistencia.

2. INTRODUCCIÓN

Las fracturas de las falanges son de las lesiones más frecuentes atendidas en los servicios de urgencias, encontrándose entre el 14% y el 28% de todas las lesiones. Las fracturas de las falanges representan el 46% de las fracturas de la mano (Rockwood y Green's, 2007). Aunado a esto es común que se encuentren con lesiones de los tejidos blandos en especial heridas y fracturas complejas ya que un mecanismo frecuente de lesión, son los machacamientos.

Mantener la longitud y la estabilidad de fracturas complejas de la falange proximal con clavillos de Kirschner es complejo, por lo que la reducción abierta y fijación interna no debe de ser una opción de tratamiento. Dadas estas situaciones, el fijador externo en distracción es una opción adecuada para el manejo de dichas fracturas (Cardoso, 2011).

Se ha preconizado la tracción por medio de la uña manteniendo el dedo en extensión sin embargo es un tratamiento sin fundamento. Existen además, una serie de constructos o fijadores externos para falanges y metacarpianos, sin embargo muchos de estos no son lo suficientemente estables o llegan a ser incómodos para el paciente. Por lo que, la idea fundamental de este trabajo es diseñar un constructo diferente que sea funcional y accesible para los pacientes del Hospital General del Estado de Sonora.

Se diseñó una nueva configuración de mini fijador externo el cual respeta zonas de seguridad anatómica, y además puede realizar distracción y compresión de los fragmentos de fractura. Dicho fijador tiene como virtud, la movilización precoz del paciente, lo cual favorece la consolidación y la rehabilitación del paciente. Se diseñó un dispositivo electromecánico controlado por medio de una computadora, a 2000 ciclos y una fuerza de 5N, sobre un dispositivo de 4 puntos, sobre el cual se efectuarán pruebas biomecánicas.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existen frecuentemente en nuestro medio fracturas de los huesos de la mano, siendo las más frecuentes las fracturas de falange (Rockwood y Green's, 2007). Mismas que frecuentemente se asocian a lesiones de tejidos blandos o fracturas complejas. En estos casos se encuentra indicado el uso de fijadores externos. Existen diversos modelos de mini fijadores externos. Sin embargo, no se ha encontrado en la literatura que se hayan realizado pruebas biomecánicas sobre los existentes; por lo anterior se presentan las siguientes preguntas de investigación:

¿Puede un mini fijador externo cuidar los tejidos blandos y estabilizar la fractura?

¿Un dispositivo de cuatro puntos puede determinar la estabilidad?

4. JUSTIFICACIÓN

El uso del fijador externo es una adecuada alternativa para el tratamiento de fracturas de falanges. Sobretudo cuando los tejidos blandos se encuentran dañados o bien se tienen trazos de fractura complejos. No se ha encontrado en la literatura pruebas biomecánicas con mini fijadores externos, por lo que se diseñó un nuevo modelo de mini fijador externo que estabilice las fracturas de falanges y resete zonas de seguridad anatómica. Dicho constructo será sometido a pruebas biomecánicas en un dispositivo de cuatro puntos el cual se diseñó y construyó. Este sistema de fijación podrá ser una alternativa de tratamiento para los pacientes del Hospital General del Estado de Sonora y así abrir como posibilidad su uso para pacientes fuera del mismo, agregando así una opción más de tratamiento para fracturas complejas de falange.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL:

Diseñar y construir un minifijador externo para las fracturas de falange.

5.2. OBJETIVOS PARTICULARES:

Determinar la estabilidad de un nuevo diseño de fijador externo en fracturas de falanges en pruebas biomecánicas de flexión.

Determinar las cargas fisiológicas necesarias para un estudio biomecánico en falanges.

Realizar un dispositivo de cuatro puntos para pruebas biomecánicas de falanges.

6. HIPÓTESIS CIENTÍFICA

Si se someten ocho constructos falange-fijador de un modelo cadavérico a 2000 ciclos con una carga a 5N: se espera que el desplazamiento final de la fractura sea menor o igual a 1mm.

7. MARCO TEÓRICO

Las fracturas metacarpianas son lesiones comunes tratadas por el ortopedista y cirujano de mano. Son la tercer fractura en frecuencia de la mano y antebrazo (Bryan G. Beutel, 2018). Se estima que el número de pacientes atendidos anualmente en los Estados Unidos es de 341,305 pacientes (Benjamin Kapur, 2015). Las fracturas de las falanges son de las lesiones más frecuentes atendidas en los servicios de urgencias, encontrándose entre el 14% y el 28% de todas las lesiones. Las fracturas de las falanges representan el 46% de las fracturas de la mano. (Rockwood y Green's, 2007).

Las fracturas de la base de la falange medial son lesiones comunes y se dividen en tres categorías incluyendo: la fractura dorsal, palmar y del pilon (conminutas). (Abou, 2016) La implicación de la superficie articular en fracturas de la base de la falange medial, es del 40% en fracturas estables y mas del 40% en fracturas inestables. Las cuales son quirúrgicas. (Glickel, 1999)

Las fracturas interarticulares desplazadas son desafiantes en las lesiones de mano. La combinación de la reducción anatómica y fijación estable, además de la movilización temprana para prevenir la rigidez articular son el tratamiento ideal. Un tratamiento inadecuado puede llevar a dolor crónico, rigidez, deformidad y artrosis prematura (Li, 2009). La inmovilización por más de tres semanas puede resultar en una pérdida de movimiento permanente (Blazar, 2000). Algunos autores recomiendan el uso de un fijador externo dinámico para fracturas luxaciones volares de la articulación interfalángica proximal (Abou, 2016).

La fijación externa esta indicada en las fracturas graves cuando no es posible la reconstrucción anatómica del esqueleto, como sucede en las fracturas abiertas y muy conminutas

de la diáfisis con o sin pérdida de hueso y en las fracturas con lesión o pérdida de tejidos blandos (Green's, 2007).

Se considera complejo el mantener la longitud y la estabilidad de fracturas conminutas de la falange proximal con clavillos de Kirschner. Reducción abierta y fijación no debe de ser una opción de tratamiento dependiendo de la conminución y del estado de los tejidos blandos. Sin embargo, un fijador externo en distracción se encuentra bien descrito como una opción de tratamiento de las fracturas del pilón de la articulación interfalángica proximal (Cardoso, 2011). Las indicaciones del uso de fijador externo son: Fracturas conminutas, contaminadas, luxaciones, fracturas conminutas articulares o periarticulares, fracturas diafisarias inestables, artrodesis, osteotomías de alineación y alargamientos óseos (De Kesel, 2018).

La mano cuenta con 14 falanges, cada dedo consta de tres falanges, excepto el primero que sólo tiene dos (aunque son más gruesas que las del resto de los dedos). Cada una de las falanges está formada por una base proximal, un cuerpo y una cabeza distal. Las falanges proximales son las mayores, las medias tienen un tamaño intermedio, y las distales son las más pequeñas. Los cuerpos de las falanges se estrechan distalmente.

Anatómicamente la irrigación de los dedos esta dada por las arterias digitales dorsales y palmares mismas que provienen de las arterias metacarpianas dorsales y palmares, que a su vez vienen de los arcos palmares (Figura 1). La inervación de los dedos viene dada por tres nervios principales: mediano, cubital y radial de los cuales se originan las ramas dorsales y palmares digitales (Figura 2) (Moore, 2017).

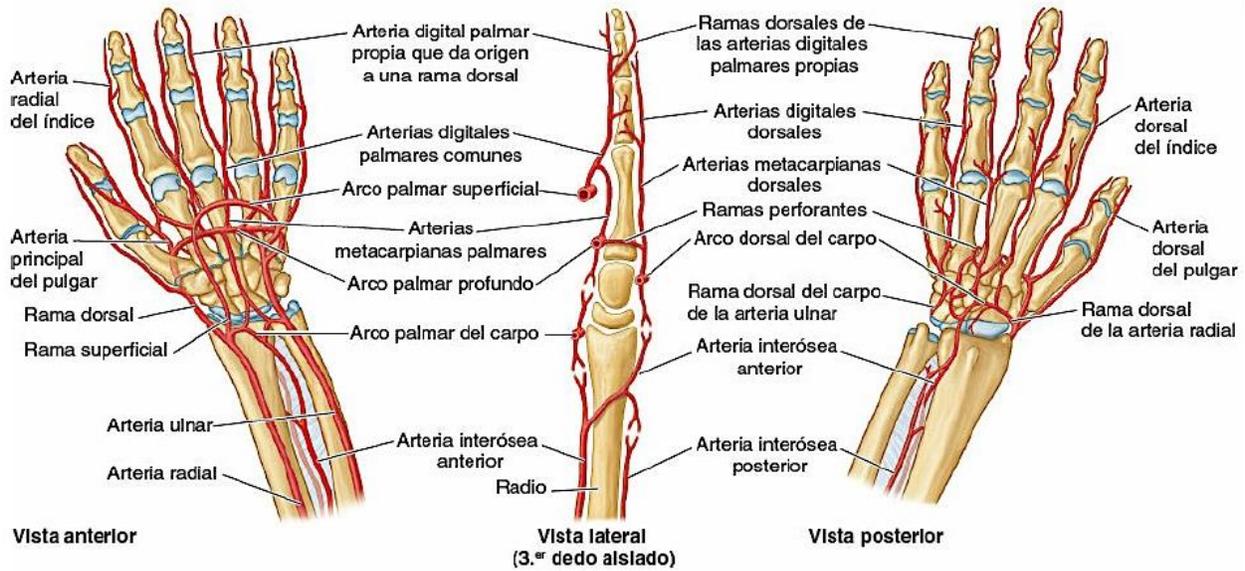


Figura 1. Arterias de la mano y del carpo (Moore, 2017)

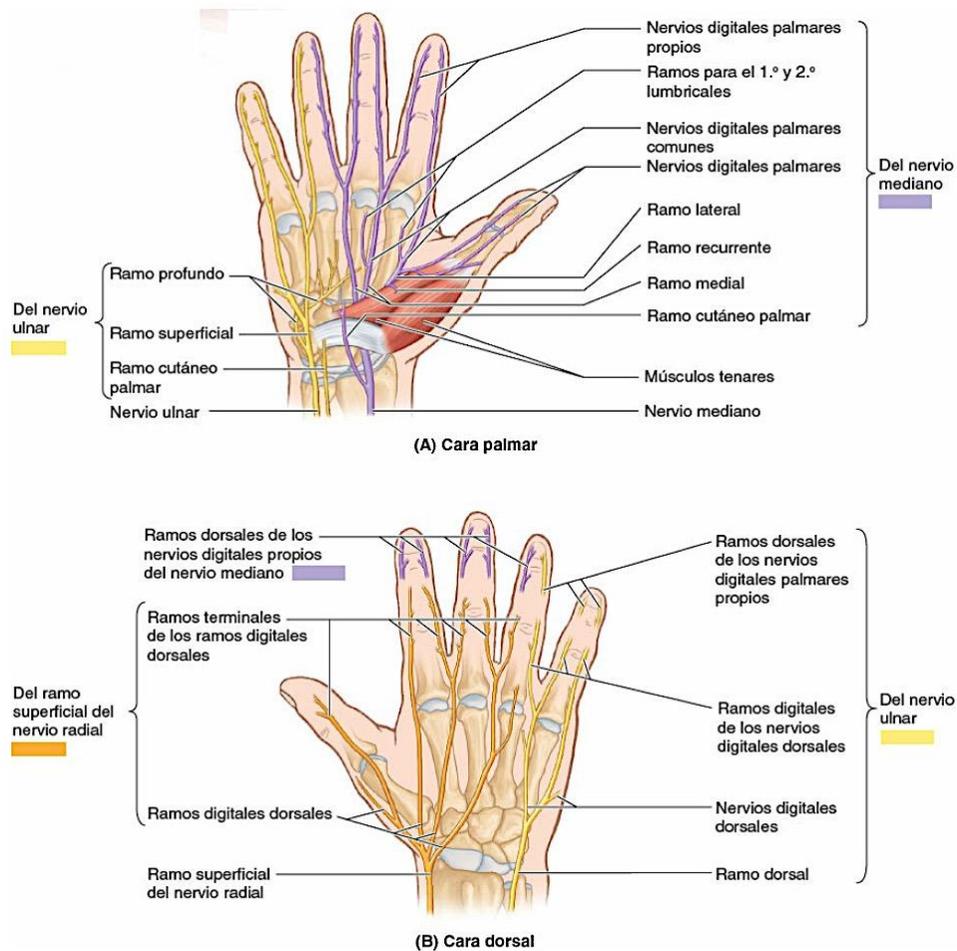


Figura 2. Inervación de la mano. (Moore, 2017)

Se encuentra bien descrita la zona de seguridad dependiendo que dedo se pretende fijar:

- En el primer metacarpiano se encuentra entre el tendón extensor largo y corto del pulgar.
- En el segundo metacarpiano se encuentra en el lado dorsoradial.
- En el 3ro se encuentra dorsoradial.
- en el 4to dorsocubital.
- en el 5to metacarpiano se encuentra en la zona dorsocubital.

Solo las falanges proximal y medial son candidatas al uso de fijador en donde se pueden fijar.

Las falanges del primer y quinto dedo se pueden fijar de forma radial y cubital mientras que en las falanges del 2do 3er y 4to dedo se fijan dorsoradial y dorsocubital (Figura 3) (Pacheco, 2004).

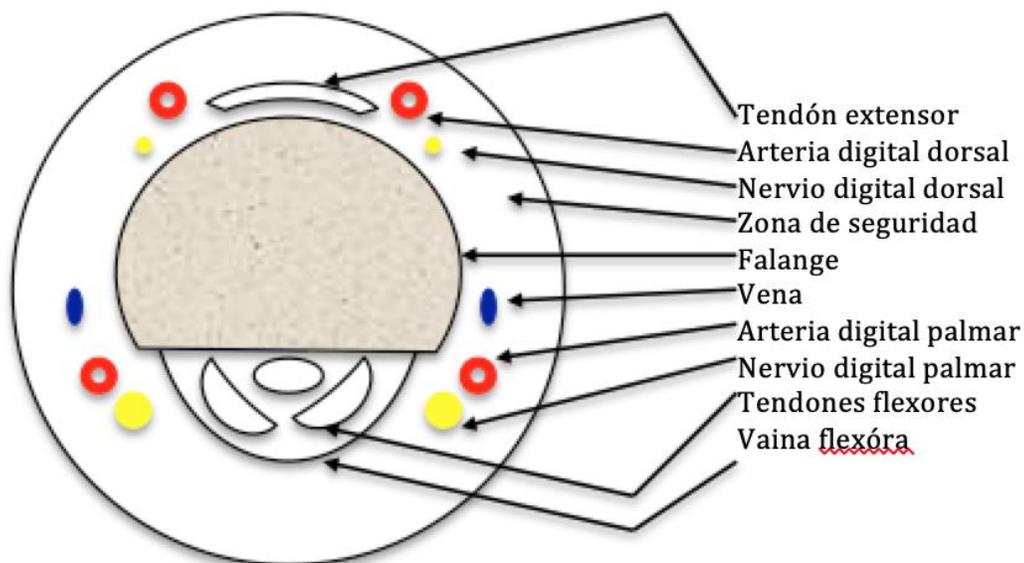


Figura 3. Zona de seguridad de inserción de clavos de Kirschner

Existe evidencia de las cargas catastróficas necesarias con sistemas de fijación con clavos cruzados y tornillos intramedulares con los siguientes resultados: Tornillo intramedular de 70.6N, Clavos Kirschner cruzados de 97.5N (Bryan G. Beutel). Sin embargo, no existe en la literatura las cargas fisiológicas de los dedos.

En un estudio se comparó la estabilidad con tornillo de compresión sin cabeza, tornillo de compresión, 1 clavo Kirschner y 2 clavos Kirschner. En donde en promedio se encontró una estabilidad de 0.09 ± 0.07 , 0.05 ± 0.05 , 0.07 ± 0.13 , 0.13 ± 0.26 . (Sirota, 2013). Con estos datos se puede suponer que la estabilidad será dada con un desplazamiento menor o igual a 1mm según el estándar de oro de tornillo de compresión.

Se han descrito diferentes tipos de fijador externo los cuales no se han encontrado estudios biomecánicos en las principales fuentes de búsqueda. Se describió un fijador externo dinámico tipo Novel con adecuados resultados. No obstante, los resultados fueron presentados con una muestra no significativa (Wang, 2019). Además, se describió un fijador externo dinámico simple con clavillos de Kirschner y alambre quirúrgico, con 13 casos en donde se obtuvieron adecuados rangos de movilidad postquirúrgica (Abou, 2016).

Un fijador externo es un dispositivo situado fuera de la piel que estabiliza los fragmentos del hueso por medio de agujas, tornillos o clavos conecta dos a una o más barras o tubos longitudinales. (Rüedi)

La biomecánica se considera una rama de la bioingeniería y la ingeniería biomédica. La bioingeniería es un campo interdisciplinar en el que los principios y métodos de la ingeniería, las ciencias básicas y la tecnología se aplican para diseñar, evaluar y manufacturar el equipo para su uso en medicina y comprender, definir y solventar problemas en la fisiología y la biología.

La biomecánica utiliza las aplicaciones de la mecánica clásica para el énfasis de los sistemas biológicos y fisiológicos. Los distintos aspectos de la biomecánica utilizan diferentes partes de mecánica aplicada.

La investigación en biomecánica tiene como objetivo mejorar nuestro conocimiento de una estructura muy compleja: el cuerpo humano. Las actividades de investigación en biomecánica pueden ser divididas en tres áreas: estudios experimentales, análisis de modelos e investigación aplicada. Los estudios experimentales en biomecánica se hacen para determinar las propiedades mecánicas de los materiales biológicos. Los estudios teóricos que implican análisis de modelos matemáticos han sido también un importante componente de investigación en la biomecánica. En general puede usarse un modelo basado en los resultados experimentales para predecir el efecto de factores ambientales y operaciones, sin recurrir a los experimentos de laboratorio.

La investigación aplicada en biomecánica es el uso del conocimiento científico para beneficiar a los seres humanos (Nordin, 2004). Durante más de una década el Hospital General del Estado de Sonora con la colaboración del Instituto Tecnológico de Hermosillo, ha realizado pruebas biomecánicas en especímenes cadavéricos en el área de Traumatología y Ortopedia con el fin de obtener resultados reproducibles buscando romper nuevos paradigmas y diseñar nuevas terapéuticas.

Como antecedente, en el Hospital General del Estado de Sonora se realizó un estudio biomecánico que determinó el porcentaje de pérdida ósea de la tibia para ocasionar una fractura de la misma (Monreal 2005), complementándose posteriormente con otro estudio que determinó

que la pérdida del 50% de la circunferencia de la tibia puede soportar cargas cíclicas de 600 N en sollicitación de flexión. (Campos 2016).

Se han obtenido resultados que demuestran la estabilidad de la tibia bajo sollicitaciones en flexión con un fijador externo tipo Charnley-Muller con distintas configuraciones (Fierro, 2015). Otros estudios han demostrado que la inmovilización postquirúrgica inmediata en las fracturas de olécranon tratadas con cerclaje tipo obenque puede resultar perjudicial y retrasar el proceso de rehabilitación a consecuencia de alteraciones en la consolidación y nutrición del cartílago articular (García, 2016).

Los estudios en flexión por mucho los métodos más comunes que se utilizan para probar los huesos enteros, existiendo de 3 y de 4 puntos. El estudio de 3 puntos es en el que se coloca el hueso a probar sobre dos soportes y un dispositivo de una sola punta se aplica sobre la superficie opuesta. En este régimen la carga máxima se produce en el punto de aplicación de la carga produciendo cizallamiento en este punto. El método de flexión de cuatro puntos alternativas es similar excepto que la carga se aplica por dos puntos de apoyo situados equidistantemente del punto medio, la principal ventaja de este método reside en el hecho de que toda la sección de hueso entre estos dos puntos de carga se somete a un momento uniforme. Por lo tanto, la configuración del haz de carga de flexión pura está distribuida en todo el eje axial y no hay cizallamiento. (Sharir, 2008)

8. MATERIALES Y MÉTODO

8.1. Diseño del estudio

Estudio experimental básico.

8.2. Población

Ocho falanges de cadáver que cumplan con los criterios de inclusión y exclusión.

8.3. Criterios de muestreo y elección del tamaño de muestra

Falanges de especímenes cadavéricos sin antecedente de fractura o antecedente de fijación previa. Muestreo no probabilístico por conveniencia y disponibilidad de especímenes cadavéricos.

8.4. Criterios de selección

8.4.1. Criterios de inclusión

1. Especímenes cadavéricos de falanges separadas sin tejidos blandos.
2. Especímenes cadavéricos de cualquier edad y de ambos sexos.

8.4.2. Criterios de exclusión

1. Antecedente de fracturas de falanges.
2. Antecedentes de osteosíntesis de falange.
3. Antecedente de artritis reumatoide, collagenopatía o enfermedad degenerativa articular.

8.5. Descripción metodológica del estudio

Con base en los antecedentes y con las zonas de seguridad descritas, se diseñó un fijador externo con una barra roscada de 3mm x 50mm y mediante 2 arandelas de 15mm de diametro y un orificio central de 4mm y dos tuercas hexagonales 6/32, se realiza un corte transversal sobre la diafisis de la falange con una sierra oscilante, y se colocaran dos clavillos de kirschner 0.045 en cada fragmento de fractura entrando de forma dorsoradial y dorsocubital, entre los dos paquetes neurovasculares en forma convergente y a 4mm del trazo de fractura, se insertan los clavos de kirschner, se doblaran los clavillos de kirshner a 90° y se colocara un clavillo por debajo de la barra y otro por encima de la misma, sujetandolos con arandelas y tuercas, por ultimo se le dara compresion al trtazo de fractura mediante la barra roscada (Figura 4, figura 5 y figura 6).

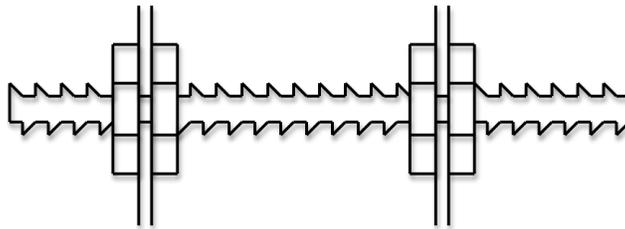


Figura 4. Vista lateral del diseño del mini fijador externo.

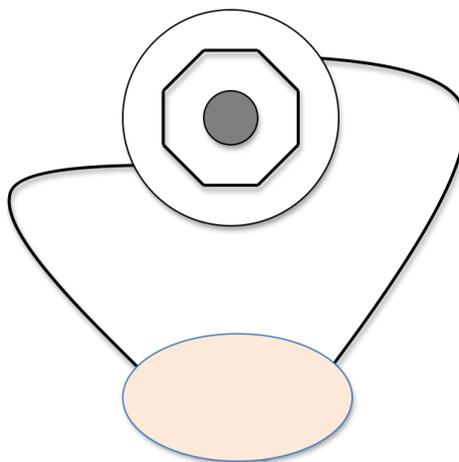


Figura 5. Vista axial del diseño del mini fijador externo.

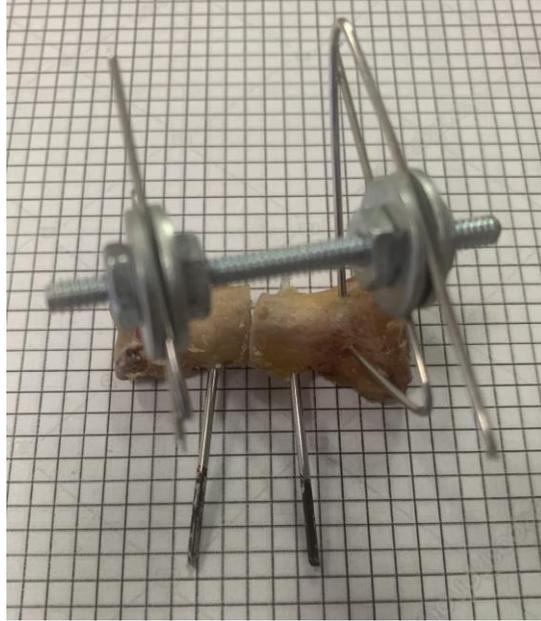


Figura 6. Constructo con clavillos de Kirschner para medición de desplazamiento.

Fue determinado por medio de una báscula digital de gancho la fuerza media de flexión utilizando como base el 2do dedo, se realizó en 25 personas de edad y sexo indistinto dando como resultado 0.5 kg de fuerza de flexión promedio. Tomando en cuenta que $1\text{kg} = 9.807\text{N}$, da como resultado una carga de 4.9N la cual redondeamos a 5N.

Con base en una rehabilitación esperada de 100 flexiones al día, y esperando como tiempo total de uso de fijador 21 días. Este constructo se somete a 2000 cargas cíclicas a una fuerza de 5N mediante un dispositivo de cuatro puntos y un dispositivo de cargas cíclicas automatizado, en el que se utilizó un pistón de 20mm de diámetro y 50mm de longitud, que por medio de un compresor de aire y tomando en cuenta la siguiente formula:

$$F(\text{N}) = \frac{P(\text{kPa}) \times A(\text{cm}^2)}{10}$$

y tomando como base 5 N de fuerza:

$$5\text{N} = \frac{15.9\text{kPa} \times 3.1416}{10}$$

y tomando en cuenta que $1 \text{ kPa} = 0.14503773773020923 \text{ psi}$, se multiplica $15.9 \times 0.14503773773020923 = 2.3 \text{ psi}$. Obteniendo este resultado se calibra la salida del compresor para obtener una fuerza final de 5N. Mediante un PLC controlado con un software (LOGO Confort V8), se recibe información de dos limit switch los cuales limitan la carrera del pistón mediante un cambio de dirección de flujo controlado por una válvula 5/2 con un solenoide (Figura 7, figura 8 y figura 9).

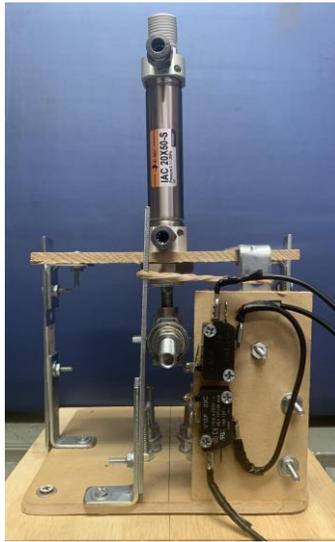


Figura 7. Dispositivo de cuatro puntos vista posterior y compresor neumático.

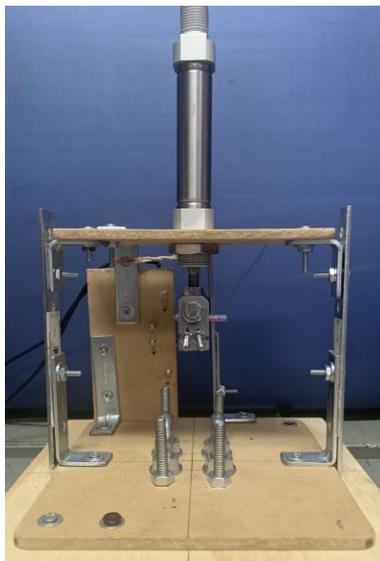


Figura 8. Dispositivo de cuatro puntos vista anterior y compresor neumático.



Figura 9. PLC y solenoide con válvula 5/4.

Se obtuvieron las muestras de 2 cadáveres de 68 y 65 años de edad que cumplieran los criterios de inclusión y exclusión. Fueron utilizadas 8 modelos cadavéricos: 3 falanges proximales del 3er dedo, 3 falanges proximales del 2do dedo y 2 falanges proximales del 4to dedo.

8.6. Categorización de las variables según la metodología

Variable	Tipo de variable	Definición operacional	Escala de medición	Indicador
Desplazamiento	Dependiente	Flexión	Cuantitativa continua	Milímetros
Carga	Independiente	Flexión	Cuantitativa	Kilogramos
Frecuencia	Independiente	Ciclos	Cuantitativa	Numérico

8.7. Análisis de datos

La variable se depositó en una hoja de cálculo de Excel en donde se procesó la información con este mismo programa. Para cada uno de los especímenes se midió la longitud y diámetro de la falange y se registró el desplazamiento final en milímetros. Se graficó y se plasmó en resultados.

8.8. Recursos empleados

8.8.1. Recursos humanos:

Médico residente de 4to año de traumatología y ortopedia.

Médico adscrito Hospital General del Estado.

Ingeniero mecatrónico del Instituto Tecnológico de Hermosillo.

8.8.2. Recursos físicos:

8 especímenes cadavéricos de falanges de mano.

32 Clavos Kirschner 0.045 (Marca GPC).

8 mini barras roscadas de 3mm diámetro por 50mm de largo.

32 arandelas 9/16 diámetro con orificio central de 4mm.

32 tuercas hexagonales 6/32.

Perforador.

Cámara fotográfica.

Pistón de presión 20x50 con rango de 0.1- Mpa (marca E-MC).

Sistema de soporte a flexión de cuatro puntos.

Computadora portátil.

1 PLC (marca Siemens).

2 Limit Switch.

Válvula de 5/2 con solenoide.

Báscula digital de gancho (Marca Rapala).

8.8.3. Recursos financieros:

Las necesidades financieras para la realización del protocolo fueron absorbidas por el medico residente y apoyo de Ortoson.

9. ASPECTOS ÉTICOS DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación médica con cadáveres debe ser siempre manejada conforme a lo establecido por la legislación mexicana. Por lo tanto, el presente protocolo ha sido elaborado siguiendo la normatividad indicada en la fracción I del artículo 89 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y con fundamento en los artículos 1o.; 2o.; 3o., fracción XXVI; 4o.; 7o.; 13 "A", fracciones I, II y X; 14; 18; 23; 24, fracción I; 27, fracción III; 32; 33; 45; 47; 100; 313 a 350 y demás relativos de la Ley General de Salud.

El reglamento de la Ley General de Salud en materia de control sanitario de la disposición de órganos, tejidos y cadáveres de seres humanos presenta dos capítulos referentes a la disposición y la investigación con cadáveres. El capítulo IV aborda la disposición de órganos, tejidos y sus derivados; productos y cadáveres de seres humanos, incluyendo los embriones y fetos. Mientras que el capítulo V incluye la normatividad para el estudio e investigación relacionados con la disposición de órganos, tejidos y sus derivados, productos y cadáveres de seres humanos.

La investigación se ha planeado conforme a lo especificado en el capítulo IV artículos 59 y 62 y capítulo V artículos 79 y 88 de la Ley General de Salud. Las especificaciones legales para cada artículo se presentan a continuación:

CAPÍTULO IV De la Disposición de Cadáveres

ARTÍCULO 59.- La disposición de cadáveres para efectos de investigación o docencia sólo podrá hacerse previa la certificación de la pérdida de la vida de acuerdo con lo prescrito en el artículo 317 de la Ley.

ARTÍCULO 62.- Para la realización de cualquier acto de disposición de cadáveres deberá contarse previamente con el certificado de defunción, que será expedido una vez comprobado el fallecimiento y determinadas sus causas por profesionales de la medicina o por personas autorizadas por la autoridad sanitaria competente.

CAPÍTULO V De la Investigación y Docencia

ARTÍCULO 79.- Para la utilización de cadáveres o parte de ellos, de personas conocidas con fines de investigación o docencia, se requiere permiso del disponente originario otorgado ante la fe del notario público o en documento privado, expedido ante dos testigos idóneos.

ARTÍCULO 88.- Las instituciones educativas serán responsables del uso adecuado y ético de los cadáveres. Sólo se podrá entregar anualmente y como máximo, el número de cadáveres que expresamente les haya autorizado la Secretaría, y para el empleo de un 28 número mayor, la institución respectiva deberá presentar solicitud en la que exprese los motivos que los justifiquen.

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La media de longitud de las falanges fue de 45mm (Gráfico 1) con una media de diámetro de 11.75mm (Gráfico 2) con el fin de colocar los clavillos de kirschner con una distancia mínima de 4mm del trazo por consideraciones técnicas del sistema de cuatro puntos. Los ocho constructos fueron sometidos a 2000 ciclos con una fuerza de 21N, ya que no pudo ser reproducible la fuerza a 5N, debido a que el mínimo de salida de presión del compresor es de 10psi. Los ocho constructos resistieron la carga cíclica cuatro veces mayor; seis sin desplazamiento y dos con un desplazamiento de 1mm, obteniendo una media de desplazamiento de 0.25mm (Figura 10) (Tabla 1) (Gráfico 3).



Figura 10. Imagen de los 8 constructos al final de las pruebas.

No. DE PRUEBA	LONGITUD DE FALANGE	DIAMETRO DE FALANGE	MEDIDA INICIAL	MEDIDA FINAL	DESPLAZAMIENTO FINAL
1	44mm	12mm	12mm	12mm	0mm
2	45mm	13mm	15mm	15mm	0mm
3	44mm	12mm	11mm	11mm	0mm
4	45mm	12mm	14mm	15mm	1mm
5	45mm	12mm	12mm	12mm	0mm
6	47mm	11mm	18mm	18mm	0mm
7	45mm	11mm	20mm	20mm	0mm
8	45mm	11mm	15mm	16mm	1mm

Tabla 1. Resultados de los 8 constructos.

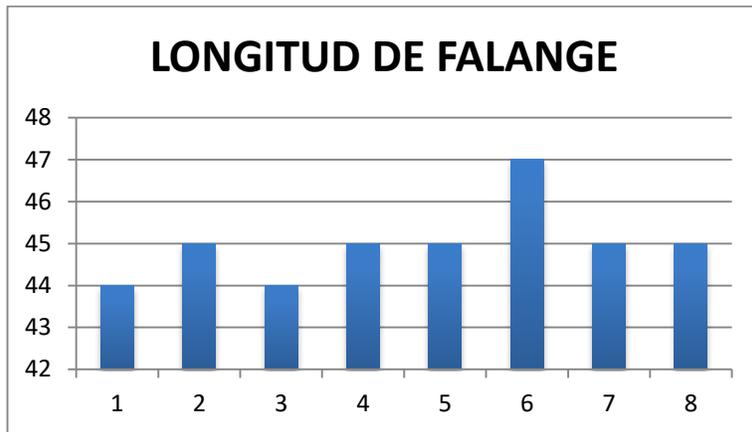


Gráfico 1.

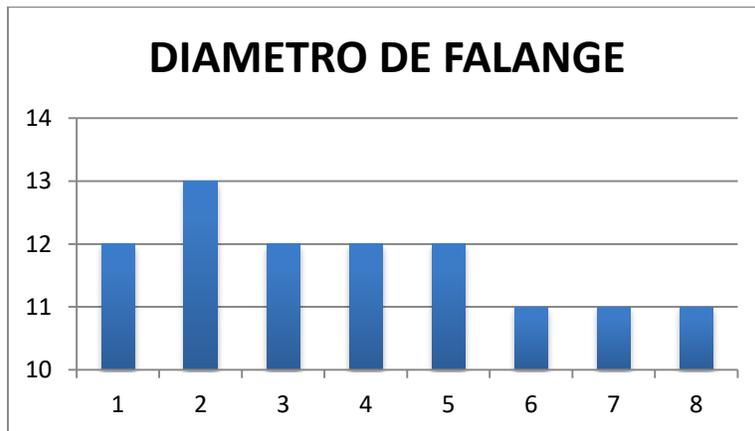


Gráfico 2.



Gráfico 3.

El fijador externo está indicado en fracturas de falange multifragmentadas o con lesión de tejidos blandos. Gracias a esta disposición de la entrada de los clavos de Kirschner en triángulo invertido permite una mayor carga que una disposición recta. Existen en el mercado diversos modelos de fijador. Consideramos que pueden llegar a ser lesionados los dedos anexos o afectar las zonas de seguridad.

En biomecánica el dispositivo de cuatro puntos es el indicado para realizar las pruebas a flexión. (Sharir, 2008). Por lo que fue el sistema de elección para las pruebas. Dos de los constructos estuvieron cerca del fallo, por lo que se analizaron los constructos encontrando que la entrada de los clavillos de Kirschner, no se encontraba con una entrada perpendicular al hueso y se encontraban oblicuos lo que puede explicar una distracción de los fragmentos (Figura 11).

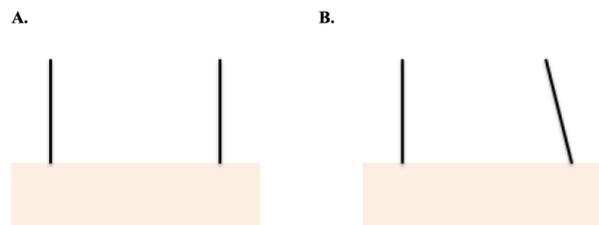


Figura 11. En la imagen A se muestra la entrada deseada mientras que en la imagen B se muestra la imagen con la entrada incorrecta de los clavos de Kirschner

11. CONCLUSIONES

Se determinó que la carga fisiológica de la flexión de los dedos es de 5N. Fue determinada la estabilidad de las fracturas de falange con un desplazamiento máximo de 1mm. Un dispositivo de cuatro puntos es confiable para realizar pruebas biomecánicas de falanges y debe de ser considerado un método de prueba. El estudio comprobó que este fijador es estable y adecuado para fracturas de falange en pruebas biomecánicas. La prueba se realizó con cuatro veces la fuerza necesaria por lo que, no solo el fijador puede ser sometido a cargas fisiológicas, si no que puede ser sometido a fuerzas mayores como las utilizadas en el aparato de flexion activa de contrarresistencia. Consideramos que se debe de realizar una prueba con cargas catastróficas en comparación con otros sistemas de fijación como clavillos de Kirschner cruzados, placa de minifragmentos y tornillo intramedular para realizar pruebas posteriores in vivo.

12. BIBLIOGRAFÍA

Campos Reyes H. Resistencia de la tibia con pérdida ósea: Estudio biomecánico aplicando cargas cíclicas. 2016; 44–45.

Fierro Santos A. Valoración de las solicitaciones en flexión en tibia con diferente configuración de fijador externo tipo Charnley-Müller: Estudio biomecánico. 2015; 39–41.

Monreal Molina R. Comportamiento de la tibia solicitada a compresión : un modelo experimental. 2005

García Gómez D. Dispositivo biomecánico para pruebas dinámicas estabilidad del tobillo en fracturas de olécranon. 2016

Rüedi Thomas P. Principios de la AO en el tratamiento de las fracturas

Moore Keith. Anatomía con orientación clínica. 2017. 8ª edición.

LI Wen-jun, TIAN Wen, TIAN Guang-lei, CHEN Shan-lin, ZHANG Chang-qing, XUE Yun-hao, LI Zhong-zhe and ZHU Yin (2009) Management of intra-articular fracture of the

fingers via mini external fixator combined with limited internal fixation Chin Med J.
122(21):2616-2619

Bryan G. Beutel, MD; Omri Ayalon, MD; Oran D. Kennedy, PhD; Matin Lendhey, MS; John T. Capo, MD; Eitan Melamed, MD. Crossed K-Wires Versus Intramedullary Headless Screw Fixation of Unstable Metacarpal Neck Fractures. The Iowa Orthopedic Journal. 2018 Vol 38: 153-157

Benjamin Kapur, MBChB, Jayanath Paniker, FRCS Tr&Ortho, MBBS, and John Casaletto, FRCS Tr&Ortho. (2015). An Alternative Technique for External Fixation of Traumatic Intra-articular Fractures of Proximal and Middle Phalanx. Volume 19, Number 4 (163-167)

Philip E. Blazar, MD, and David R. Steinberg, MD. Fractures of the Proximal Interphalangeal Joint. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. Vol 8, No 6, November/December 2000.

Mohamed M. Abou Elatta, MD, Foad Assal, PhD, Hussam M. Basheer, FRCS Ed, and Mazen Mohamed Ibrahim, MD, PhD. The Use of a Simple Dynamic External Fixator for the Treatment of Volar Fracture Subluxation of Proximal Interphalangeal Joints of the Fingers. Tech Hand Surg 2016;20: 161–165)

Roy Cardoso, MD* and Zhongyu Li, MD, PhD. Novel Wire External Fixation Technique for Proximal Phalanx Pilon Fractures: Technique and 2 Case Reports. *Tech Hand Surg* 2011;15: 162-165)

Glickel SZ, Barron OA, Eaton RG. Dislocations and ligament injuries in the digits. In: Green DP, Hotchkiss RN, Pederson C, eds. *Operative Hand Surgery*. 4th ed. New York: Churchill Livingstone, 1999:772– 808.

Rockwood & Green's. (2007). *Fracturas en el adulto*.

Hua-Zhu Wang, Jian-Yong Zhao and Zhi-Sheng Zhang. A novel dynamic distraction external fixator for proximal interphalangeal joint fracture dislocation. *Journal of International Medical Research* 0(0) 1–8 2019

Michael A. Sirota, MD, Brent G. Parks, MSc, James P. Higgins, MD, Kenneth R. Means, Jr, MD. Stability of Fixation of Proximal Phalanx Unicondylar Fractures of the Hand: A Biomechanical Cadaver Study. *J Hand Surg* 2013;38A:77–81

Ricardo J. Pacheco and Michael Saleh. The role of external fixation in trauma. Trauma 2004; 6:
143-160

Sharir, A. (2008). Whole Bone Mechanics And Mechanical Testing. The Veterinary Journal, 8-
17.

Cirugia de la mano. Green's, 2007

Mini External Fixation for Hand Fractures and Dislocations: The Current State of the Art Renata
De Kesel, MD, Franz Burny, MD, PhD, Frédéric Schuind, MD, PhD. Hand Clinics 22
307-315. 2006.

Biomechanica básica del sistema musculoesquelético, Margaret Nordin, 1ra edición, 2004

13. ANEXOS



Gobierno del
Estado de Sonora

Secretaría de
Salud Pública

SERVICIOS DE SALUD DE SONORA
HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO
"Dr. Ernesto Ramos Bours"
Unidad Jurídica

Oficio No.: SSS-HGE-UJ-2019-16
Hermosillo, Sonora. 20 de mayo de 2019
"2019: Año del combate a la corrupción".

**COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN
DEL HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO
"DR. ERNESTO RAMOS BOURS"
P R E S E N T E.-**

Mediante a la presente, le hago de su conocimiento en referencia a la APROBACIÓN de solicitud de trabajo de tesis titulado "Mini Fijador Externo como Tratamiento para Fracturas de Falange: Estudio Biomecánico, SOLICITUD REALIZADA POR EL MÉDICO RESIDENTE DE CUARTO AÑO DE TRAUMATOLOGÍA Y ORTOPEDIA EL C. DR. DANIEL ALEJANDRO DE LA VEGA RAMÍREZ, mediante la cual se les requiere se obtenga un documento de aprobación por parte del Ministerio Público para poder hacer uso del modelo cadavérico al respecto le informo lo siguiente:

Que conforme a lo establecido en la Ley General de Salud Capítulo V, Artículo 350 bis 2, 350 bis 3 y 350 bis 4, que a la letra dicen:

Artículo 350 bis 2.- Para la práctica de necropsias en cadáver de seres humanos se requiere consentimiento del cónyuge, concubinario, concubina, ascendientes, descendientes o de los hermanos, salvo que exista orden por escrito del disponente, o en el caso de la probable comisión de un delito, la orden de la autoridad Judicial o el Ministerio Público.

Artículo Adicionado DOF 16-05-2000

Artículo 350 bis 3.- Para la utilización de cadáveres o parte de ellos de personas conocidas, con fines de docencia e investigación, se requiere el consentimiento del disponente.

Tratándose de cadáveres de personas desconocidas, las instituciones educativas podrán obtenerlos del Ministerio Público o de establecimientos de prestación de servicios de atención médica o de asistencia social. Para tales efectos, las instituciones educativas deberán dar aviso a la autoridad sanitaria competente, en los términos de esta Ley y demás disposiciones aplicables.

Artículo Adicionado DOF 26-05-2000. Reformado DOF 14-07-2008

Artículo 350 bis 4.- Las instituciones educativas que obtengan cadáveres de personas desconocidas serán depositarios de ellos durante diez días, con objeto de dar oportunidad al cónyuge, concubinario, concubino o familiares para reclamarlos. En este lapso los cadáveres permanecerán en las instituciones y únicamente recibirán el tratamiento para su conservación y el manejo sanitario que señalen las disposiciones respectivas.

Una vez concluido el plazo correspondiente sin reclamación, las instituciones educativas podrán utilizar el cadáver.

Por lo que esta Unidad Jurídica no encuentra inconveniente alguno en llevar a cabo dichos procedimientos siempre y cuando se cumplan con todos y cada uno de los requisitos establecidos en la presente Ley.

Sin otro particular por el momento, me despido de Usted enviándole un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E
SUFRAGIO EFECTIVO, NO REELECCIÓN
EL JEFE DE LA UNIDAD JURÍDICA**


LIC. VICTOR MANUEL GARCÍA GARCÍA.

C.C.P. Dr. Marcos José Serrato Félix, Director General del HGE.
C.C.P. Dr. Joaquín Sánchez González, Director Médico del HGE.
C.C.P. C.P. Alberto Bloch Ortiz, Director Administrativo del HGE.
C.C.P. Archivo.

VMGG/Bety*



Hospital General
del Estado
Dr. Ernesto Ramos Bours

Unidos logramos más

Bld. Luis Encinas Johnson S/N Colonia Centro
Tels. (662) 2592501, 2592505
Hermosillo, Sonora / www.saludsonora.qob.mx