



**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**

**NOMBRE DE LA TESIS**

**DIÁMETRO DEL TORNILLO RETRÓGRADO EN EL CORREDOR ILIOPÚBICO EN LESIÓN  
DE PELVIS TIPO C; UN ANÁLISIS BIOMECÁNICO**

**QUE PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD DE ORTOPEDIA**

**PRESENTA:**  
**FIDEL VELÁZQUEZ MUÑOZ**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS:**  
**DR JUAN PABLO CONTRERAS FÉLIX**

**COMITÉ TUTOR: DR DAVID LOMELI ZAMORA**  
**DR EDGAR OMAR PEREZ GUTIERREZ**  
**M.C. NOHELIA PACHECO HOYOS**

**Hermosillo Sonora; 4 de Julio de 2023**



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.



## **DEDICATORIA**

Este trabajo, el desarrollo de un conocimiento adquirido a lo largo de 4 años, se lo dedico a las personas que han estado a lo largo de mi vida, a mis padres y hermanas que me han enseñado, me han tolerado, me han acompañado en todos los sucesos mas importantes de mi vida, el reflejo de este trabajo, es el reflejo del trabajo que ustedes hicieron conmigo. Le agradezco tambien a los profesores y maestros , aquellos que en primer semestre de la carrera me impulsaron a terminar la escuela, asi como aquellos que conocí a través de mi curso dentro de esta hermosa profesión, maestros que después se convirtieron en amigos y colegas, así como los amigos de la carrera, mis tres hermanos de la residencia que sin ellos no hubiera sido lo mismo, tambien aquellas personas que estuvieron durante la evolución de este proceso pero que por diferentes cuestiones, hoy no están, pero que siempre estarán en el pensamiento, en el corazón, incluso en la piel, tambien a ellos les debo esto, a Dios que solo el sabe como y por que ocurren las cosas, y a mi mismo que me demostré de lo que soy capaz de realizar con amor y disciplina.

## **INDICE**

<b>RESUMEN</b> .....	5
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	7
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN</b> .....	8
<b>OBJETIVOS</b> .....	10
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	10
<b>OBJETIVOS PARTICULARES</b> .....	10
<b>HIPÓTESIS CIENTÍFICA</b> .....	11
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	12
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	24
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	30
<b>CONCLUSIONES</b> .....	33
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	34

## RESUMEN

La fijación del anillo pélvico anterior (APA) tratados con el tornillo retrógrado en el corredor iliopúbico ha demostrado ser una técnica biomecánicamente comparable en comparación con el tratamiento convencional con placas demostrando ventajas, presentando menos complicaciones como dehiscencia de herida quirúrgica, infecciones del abordaje, lesiones de estructuras vasculares y nerviosa, secundario al evento quirúrgico mas que a la lesión inicial. Sin embargo, no es una técnica que se encuentre exenta de complicaciones, principalmente asociada al cirujano, a la técnica y al implante, por lo cual la intención de este estudio es demostrar el diámetro mínimo requerido para evitar lesión del techo acetabular, perforación de la cortical interna, llegando a lastimar la vejiga, la vena y arteria iliaca, así como sus variedades anatómicas.

Este estudio biomecánico tiene como objetivo determinar el diámetro mínimo requerido, en seis modelos sintéticos de pelvis anatómica de espuma rígida marca (Saw Bones) comparando tornillos 3.5mm y 4.5mm de diámetro, bajo cargas cíclicas a 350N de acuerdo a protocolos ya establecidos por (McDonald 2015 y Becker 2019). Se demostró desplazamiento de la rama iliopúbica de 1 mm en promedio, siendo este un resultado satisfactorio, dentro de los hallazgos del estudio, es la diástasis de la sínfisis de pubis en los modelos sintéticos masculinos fijados con tornillos 4.5 mm y desplazamiento del anillo pélvico posterior en los modelos sintéticos femeninos fijados con tornillos 3.5 mm.

En conclusión la utilización de tornillos 3.5mm en el corredor iliopúbico es biomecánicamente estable bajo cargas cíclicas a 350N en lesiones de pelvis tipo C, en fracturas de la rama iliopúbica, con esto ofreciendo una técnica percutánea con múltiples

ventajas frente al tratamiento convencional (reducción abierta y fijación interna), con menor riesgo de complicaciones asociadas.

## INTRODUCCIÓN

La fijación del anillo pélvico anterior (APA) tratado con la colocación de un tornillo retrógrado en fracturas de la rama iliopubica en lesiones de pelvis tipo C, ha resultado en un procedimiento común, que disminuye las complicaciones del tratamiento convencional. Esto se refleja en el paciente con disminución del dolor postoperatorio y una movilización temprana mejorando el pronóstico del paciente. Sin embargo, la colocación de este, es complicado debido a la anatomía tan diversa del corredor iliopúbico, que va en relación con el género, la altura y el peso. Además, presenta varias estrecheces que hacen difícil la determinación del diámetro del tornillo ideal. El APA en la biomecánica de la pelvis tiene el papel de un puntal anterior, que impide el colapso anterior de este cuando se inicia el apoyo en la marcha. No obstante, representa solo una pequeña parte de la estabilidad, ya que en ausencias congénitas y/o traumáticas no representa una inestabilidad, mientras que el responsable mayoritario de la transmisión de cargas desde la columna hasta las extremidades inferiores es el anillo pélvico posterior. Con base a esto, se realizó un estudio biomecánico en pelvis sintéticas para determinar el tornillo con el diámetro mínimo requerido que bajo cargas cíclicas de 350N no presente un desplazamiento mayor de 10mm en fracturas de la rama iliopúbica en las lesiones de pelvis tipo C.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

Dentro de las técnicas mínimamente invasivas y tradicionales que existen para la fijación del anillo pélvico anterior, el papel de la colocación del tornillo retrógrado en fracturas de la rama iliopúbica en lesiones tipo C ha demostrado propiedades biomecánicas similares frente a otros constructos con placas y superiores comparados con fijadores internos que son aplicados de manera subcutánea (InFix). No obstante, la fijación con tornillo en la rama iliopúbica ha provocado múltiples controversias en cuanto a la longitud, el diámetro, la dirección, el sitio de entrada en la fijación del APA con tornillo retrógrado y el sitio de entrada. Routt et al. 1995 y Attias et al. 2005 encontraron imposible la colocación de tornillos 6.5mm de manera retrógrada y recomiendan solo la utilización de solo tornillos 3.5mm y 4.5mm de diámetro, mientras que Moushine et al. en su estudio utilizó tornillos 7.3mm en 21 pacientes, sin ninguna complicación. (Arand et al. 2021) en su evaluación anatómica del corredor iliopúbica, basada en modelos 3D por tomografía, encontraron la fijación percutánea del anillo pélvico anterior no siempre es posible sin lesionar la superficie articular del acetábulo, sobre la cortical interna del corredor iliopúbico o en su defecto ambos, esto debido a la geométrica del corredor iliopúbico.

Las principales complicaciones en la colocación del tornillo retrógrado en el corredor iliopúbico se atribuyen a 3 factores principales: al cirujano, a la técnica y al implante (Neto Lucio et al. 2021), determinando el diámetro mínimamente requerido necesario para la estabilización de las fracturas de la rama iliopúbica dentro de las lesiones de pelvis tipo C se disminuye el riesgo de complicaciones asociadas a esta técnica, contaremos con una opción de osteosíntesis mínimamente invasiva, biomecánicamente estable, segura, eficaz, económica y con ventajas superiores frente a los métodos de fijación tradicional, para

pacientes del Hospital General del Estado de Sonora. Esto disminuyendo los días de estancia intrahospitalaria, requerimiento de transfusiones, utilización de analgésicos opioides y reincorporando a un paciente a sus actividades laborales. Además de tener el conocimiento, de los corredores de seguridad dentro de la anatomía geométrica de la pelvis de la población mexicana, así contaremos con nuevas técnicas de osteosíntesis mínimamente invasivas de pelvis que llevará a la resolución de grandes problemas con pequeños abordajes. Por lo cual es necesario la realización de este trabajo para determinar diámetro mínimo requerido del tornillo retrógrado en fracturas de la rama iliopúbica en fracturas tipo C de pelvis que bajo cargas cíclicas a 350N no presente un desplazamiento mayor a 10mm, para contar con una técnica de menor riesgo.

### **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es el diámetro mínimo requerido en fracturas de la rama iliopúbica en lesiones de pelvis tipo C, previamente fijado el anillo pélvico posterior, que bajo cargas cíclicas a 350 N no presente un desplazamiento mayor a 10mm?

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el diámetro mínimo requerido para estabilizar la fractura de la rama iliopúbica en lesiones tipo C de pelvis bajo cargas fisiológicas

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Valorar la seguridad del corredor iliopúbico para la fijación con tornillo retrógrado

## **HIPÓTESIS CIENTÍFICA**

Al someter un modelo sintético de pelvis con lesion tipo C fijado de la rama iliopúbica con un tornillo 3.5mm de diametro, previamente fijado el anillo pelvico posterior, con una carga de 350 N y 2520 ciclos no se presentará un desplazamiento igual o mayor a 10 mm

## MARCO TEÓRICO

La biomecánica es la ciencia que se encarga de estudiar las leyes de la mecánica aplicada en los seres vivos. Esta abarca las acciones ejercidas sobre el cuerpo humano, como las cargas, las fuerzas, y las respuestas hacia estas mismas, así como las deformaciones y deformidades, como sus consecuencias y efecto a corto, mediano y largo plazo. Además, estudia el comportamiento de los implantes utilizados en ortopedia, los organismos en los cuales son aplicados, los mecanismos de lesión con sus características, por lo cual se puede deducir la cinemática del trauma.

Las fracturas de pelvis a nivel mundial ocupan entre el 3% y el 5% de los pacientes que ingresan por trauma, la mayoría de ellos secundaria accidentes automovilísticos en un 60%, el 9% en motocicleta, 12% arrollados y 10% caídas de altura. De acuerdo con la clasificación de Tile las lesiones Tipo C (cuadro 1), es un problema muy serio, su tratamiento es complejo al tratarse de una lesión con dos tipos de inestabilidad, rotacional y vertical, asociándose a sangrados masivos y otras lesiones traumáticas como lesiones de los principales vasos y nervios de la pelvis, intestino, vejiga y Ureta. (Sun, 2020). Actualmente, se encuentra como tercera causa de muerte, por fractura de pelvis producidas por accidentes en motocicleta, siendo solo superada por traumatismo craneoencefálico y la lesión aortica, (Miranda, 2006). En el pasado la mayoría de las lesiones del anillo pélvico anterior eran tratadas de manera conservadora, ignorando que un desplazamiento significativo incrementa el riesgo de no unión, lo que llevara a dolor crónico limitando la movilidad resultando en complicaciones más severas como trombosis venosa profunda, postración y distrofia muscular, estudios han

demostrado que la fijación de ambos anillos pélvicos brindan una mayor estabilidad y mejor pronóstico que solo fijar el anillo pélvico posterior (Sun 2020).|

**TIPO A. LESIONES ESTABLES:**

<b>A1. FRACTURAS QUE NO INVOLUCRAN EL ANILLO PÉLVICO (AVULSIONES)</b>	A2. FRACTURAS CON DESPLAZAMIENTO MÍNIMO	A3. FRACTURA TRANSVERSA DEL SACRO O COXIS
<b>TIPO B. ESTABILIDAD PARCIAL:</b>		
<b>B1. LESIÓN EN LIBRO ABIERTO</b>	B2. LESIÓN POR COMPRESIÓN LATERAL	B3. LESIÓN BILATERAL
<b>TIPO C. INESTABLES (CIZALLAMIENTO VERTICAL):</b>		
<b>C1. UNILATERAL</b>	C2. BILATERAL. UN LADO B OTRO C	C3. BILATERAL TIPO C

**Cuadro 1. De acuerdo con la clasificación de Tile, las fracturas de pelvis se pueden dividir en: Tipo A lesiones estables, Tipo B Estabilidad parcial, Tipo C Inestable. (Marvin Tile 2003)**

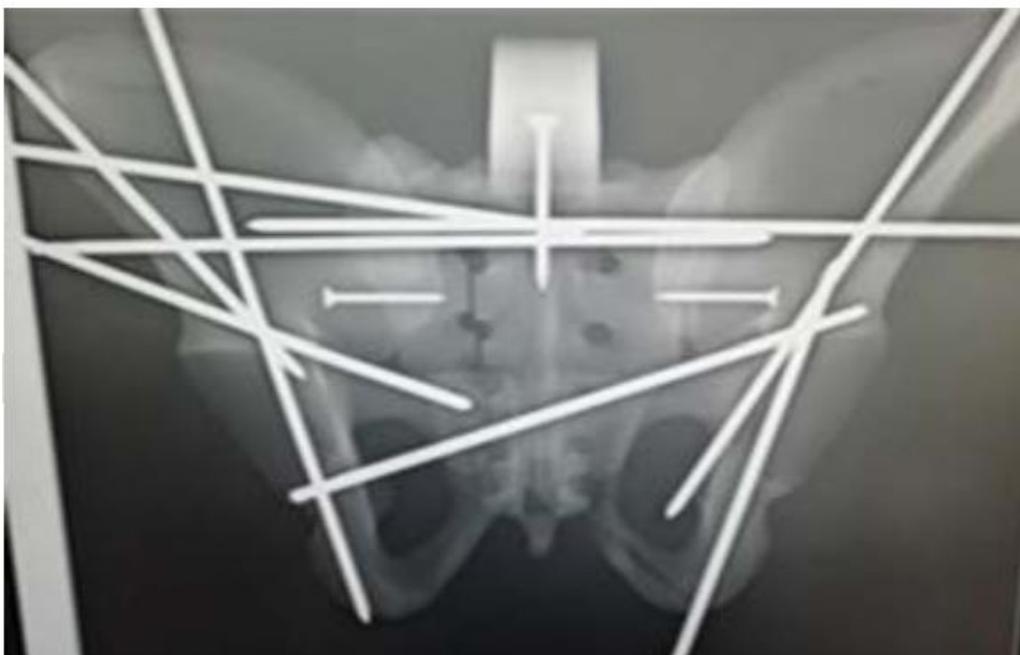
Las lesiones del anillo pélvico anterior frecuentemente se asocian con lesiones del anillo pélvico posterior, del 54% al 97% de los casos y las fracturas aisladas de las ramas iliopubica de 3% al 46%, estas por si solas se consideran estables. Estas se asocian con el aumento de la morbimortalidad al tratarse de manera conservadora. Nakatani et al., (2008) describieron una clasificación para las fracturas de las ramas basadas en la radiografía anteroposterior de pelvis, definiendo 3 zonas, Zona I medial al agujero obturador, Zona III lateral al agujero obturador y Zona II, entre la Zona I y II.

En los últimos 20 años, la reducción abierta y la fijación interna ha sido el método de tratamiento estándar en fracturas de pelvis con buenos resultados. Sin embargo, se han encontrado complicaciones en el 25% como infección del sitio quirúrgico, dehiscencia de herida, lesión de víscera hueca, nerviosa o vasculares, la mayoría de estas relacionadas al

evento quirúrgico mayor que a la lesión inicial, es por eso que es razonable considerar alternativas menos invasivas (Chen 2009).

La cirugía mínimamente invasiva de la pelvis engloba un conjunto de técnicas de fijación mediante métodos de reducción indirecta, abordajes pequeños introduciendo implantes pequeños, tornillos canulados, placas, fijadores internos (INFIX). En imagen 1 se presenta los corredores de seguridad para fijación percutánea de pelvis y acetábulo. El abordaje percutáneo se asocia con menos complicaciones que las técnicas abiertas, ya que ofrece un tiempo quirúrgico más corto, reduce los peligros con la exposición quirúrgica, así como la pérdida sanguínea, así como los días de estancia intrahospitalaria, sin embargo, la geométricidad de la anatomía de la pelvis hace que la fijación percutánea de tornillos sea un procedimiento difícil.

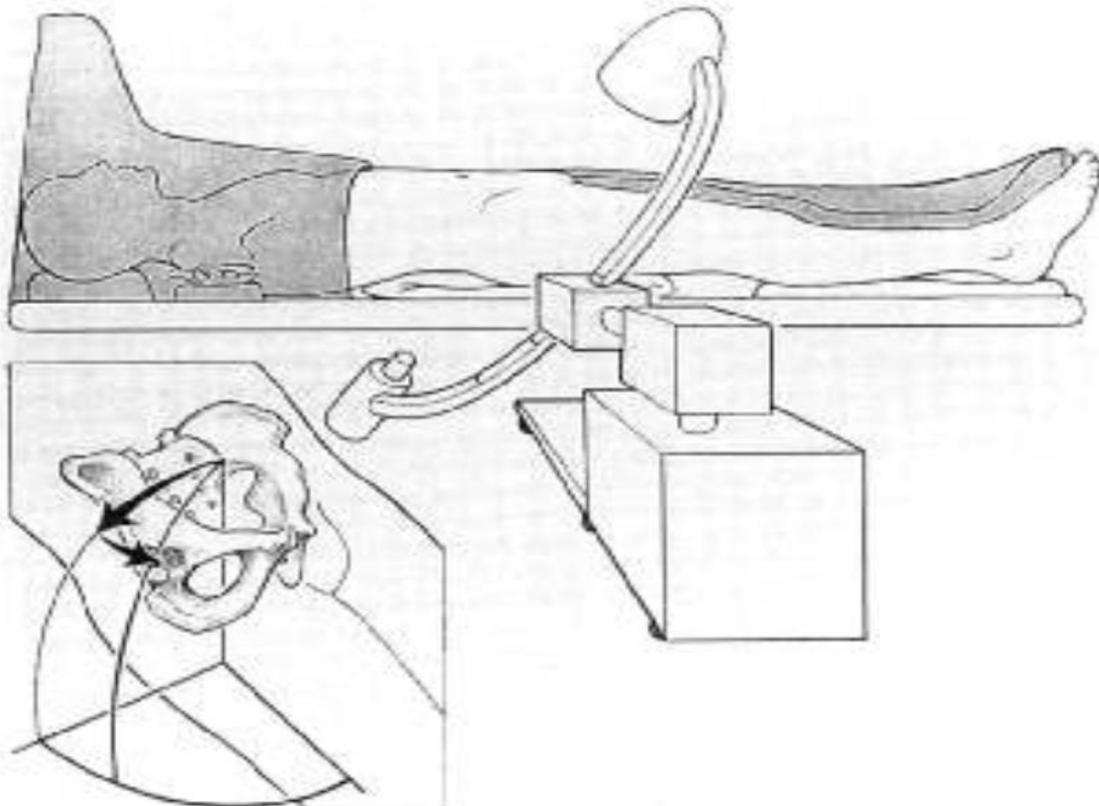
**Imagen 1. Corredores de seguridad de pelvis y acetábulo (Nieto 2021)**



En Norteamérica y Europa la colocación de tornillos anterógrados o retrógrados asistidos por fluoroscopia, se ha utilizado sabiamente para fracturas inestables, particularmente de las fracturas de la rama púbica, esta técnica evita la reducción abierta y fijación interna con placas de 10 orificios a través de grandes abordajes como el ilioinguinal; la colocación de este tornillo puede tener complicaciones desastrosas debido a la proximidad de estructuras como la vejiga, la arteria y la vena iliaca, motivo por el cual es imprescindible el conocimiento anatómico del mismo corredor iliopubico así como la estructuras que lo rodean y de las posibles variantes anatómicas, como la corona mortis que pasa 6 centímetros lateral a la sínfisis del pubis y tiene una prevalencia anatómica del hasta el 20% en la población (Suzuki 2008). En un estudio anatómico en población japonesa encontraron en los pacientes masculinos todos tenían al menos 10mm de diámetro y las mujeres de 7.3mm, si estimamos que debe existir al menos de 1mm a 2 mm de stock óseo alrededor del tornillo, demuestra que en pacientes femeninas es imposible la colocación de un tornillo de 6.5mm, así que los pacientes con un diámetro estrecho del corredor iliopubico no debería realizarse la colocación de tornillo percutáneos o realizarse con diámetros de 3.5mm y 4.5mm. (Attias et al.2005)

Los primeros casos de fijación percutánea del anillo pélvico posterior se realizaron en pequeños animales, por (DeCamp Et al. 1986) en el cual trataron 92 perros con fractura luxación del anillo pélvico posterior, en la Universidad del Estado de Michigan, de esos casos el 77% presentaba luxación unilateral sacroilíaca, y el 23% tenía lesión bilateral, la fijación percutánea se realizó tan solo en el 65% de los casos. El 48% de los pacientes tratados quirúrgicamente fueron evaluados radiográficamente con un promedio de 437 días postquirúrgicos, encontrado pérdida de la reducción y aflojamiento del atornillamiento, en el 38% de estos casos evaluados postquirúrgicamente, el alto índice de la pérdida de la

reducción inicial, son resultados quirúrgicos inaceptables. En 1991, 5 años más tarde se publicó la primera serie de 8 pacientes humanos tratados con fijación percutánea en luxación sacroilíaca, guiada por tomografía axial computarizada, por (Nelson MD et al. 1991) obteniendo adecuados resultados clínico-radiográficos en sus 8 pacientes sin complicaciones significantes. Se describió por primera vez la técnica de la colocación del tornillo retrogrado en lesiones del anillo pélvico anterior por fractura de las ramas púbicas, en 26 pacientes, de los cuales 15 se colocaron vía percutánea mientras que los 9 restantes, se realizó la fijación mediante reducción abierta, se excluyeron dos pacientes ya que la colocación del tornillo fue imposible colocar, en uno se perforó la cortical interna de la rama iliopúbica interna, el segundo caso presentó aflojamiento del material y pérdida de la reducción la cual ameritó cirugía de revisión, el resto de los casos consolidaron, no hubo aflojamiento del material o infecciones ( Routh et al. 1995).



**Imagen 2. El Paciente es colocado en decúbito supino, en una mesa translúcida, el arco en C es colocado en el lado de la lesión, para obtener la imagen de obturatriz de salida se inclina 30° hacia los pies de la cama y rotando 30°, hacia la cadera afectada, la combinación de estas imágenes demostrara la zona de seguridad de colocación del tornillo retrogrado. (Routt 1995)**

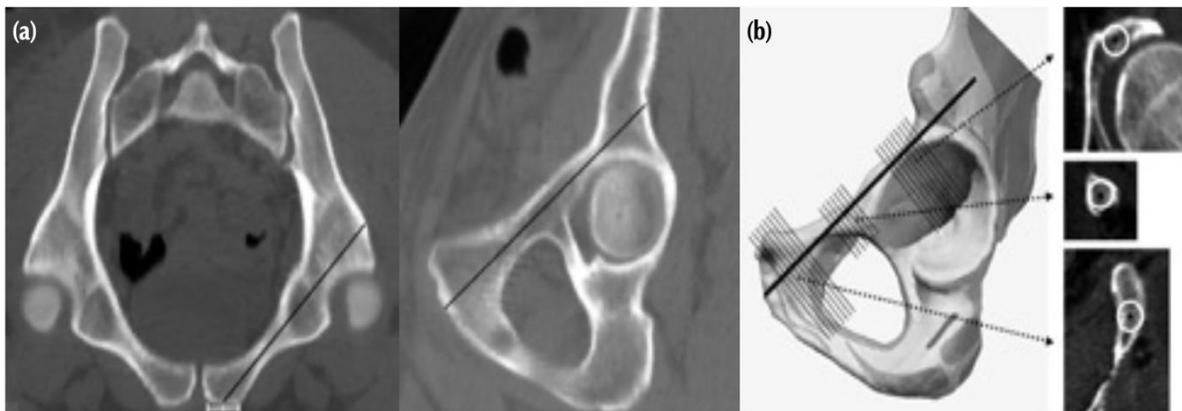
Para una adecuada realización de esta técnica se coloca al paciente en decúbito supino, en una mesa translúcida con el arco en C en el mismo lado del paciente, para demostrar observar el corredor iliopubica, en el primer paso se coloca el arco en C en proyección de salida de pelvis y en segundo paso se gira 30° hacia el lado afectado. (Routt 1995; Imagen 2)

Esta técnica ha sido biomecánicamente comparada frente a otros constructos demostrando superioridad o con resultados similares frente a los implantes más tradicionales como fijadores externos, placas de diferentes perfiles, otros métodos de mínima invasiva como el INFIX (Internal Fixator). Kußmaul et al. realizaron un estudio con 30 pelvis sintéticas, en el

cual simuló en toda de ellas lesiones de ambos anillos pélvicos, demostrando que el atornillamiento anterior y posterior, presentaban menor grado desplazamiento en comparación con los otros grupos, obteniendo resultados similares que en el estudio de Ladde et al, en su análisis biomecánico en 16 pelvis artificiales con fracturas de las cuatro ramas púbicas, comparando el atornillamiento con tornillos 4.5 mm x 70 mm de rosca completa contra la fijación con placa de compresión dinámica (DCP) de 4.5mm con 4 tornillos de cada lado, demostrando menor desplazamiento en las cargas cíclicas solicitadas. (McLachlin et al. 2017) realizaron un estudio en pelvis sintéticas con lesión de ambos anillos pélvicos en el cual comparó 4 fijaciones del anillo pélvico anterior, en ausencia de una fijación posterior, con 4 diferentes implantes, placa de reconstrucción de 10 orificios de 3.5mm, fijador externo supraacetabular, y tornillos retrógrado 3.5 y 6.5mm, ambos bicorticales, demostrando que el tornillo de 6.5mm bicortical fue el constructo que demostró menos desplazamiento del anillo pélvico posterior en ausencia de una fijación. Estos resultados previamente mencionados justifican la utilización de esta técnica mínimamente invasiva y su propiedad biomecánica va en relación con el diámetro comparado con su longitud, además de una distribución más balanceada de las fuerzas, sin embargo, la utilización de tornillos más gruesos se asocia con más complicaciones.

En estudios anatomoradiológicos como el que realizaron Chen et al., (2009) comparando las diferencias entre la longitud y el diámetro del corredor iliopúbico entre hombre y mujeres colocando de manera virtual un tornillo 6.5mm, encontraron que los pacientes que fueron imposible la colocación de este tornillo, todos los pacientes fueron del género femenino. Esto coincide con lo reportado por Arand et al., (2021) quien también colocó de manera virtual un tornillo de 7.3mm en hombres y mujeres de diferentes grupos étnicos, japoneses y europeos,

sin deferencia en cuanto al grupo étnicos, los hombres son más accesibles para el corredor iliopúbico en comparación de las mujeres en el cual tampoco se les pudo colocar el tornillo.

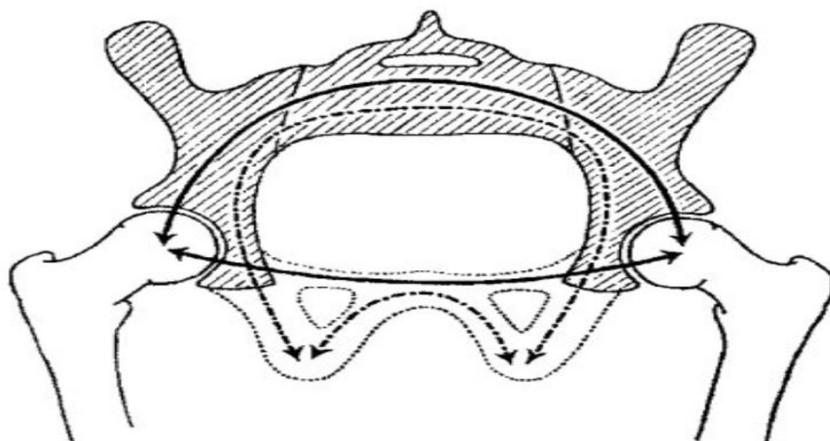


**Imagen 3. (a) Se dibuja un eje para la inserción del tornillo que comienza en el centro del tubérculo púbico a través de la porción media de la rama púbica y el área acetabular y luego sale del ilion lateral. (b) El canal es más estrecho en el acetábulo, la base o rama iliopúbica y el área parasinfisiaria. Los círculos indican los diámetros de los canales. (Suzuki 2008)**

Susuki et al (2008) en su estudio, determinaron las tres porciones mas estrechas en el corredor iliopúbico, que son el area parasinfisiaria, la base o rama iliopúbica y el área supraacetabular, y la más estrecha determina el diámetro del tornillo, estas áreas tienen relación en cuanto al peso, a la altura del paciente y al género, tanto en hombres como en mujeres el área base está relacionada al peso, en mujeres el área parasinfisiaria esta en relación con la altura, y el área supracetabular no está en relación con estas medidas morfométricas.(Imagen 3)

Otros autores que sí realizaron la fijación en pacientes como Routt et al. (1995) y Attias et al. (2005) han encontrado imposible la colocación de tornillos de 6.5mm a diferencia de Moushine et al (2005), quienes han aplicado tornillos 7.3mm sin complicaciones.

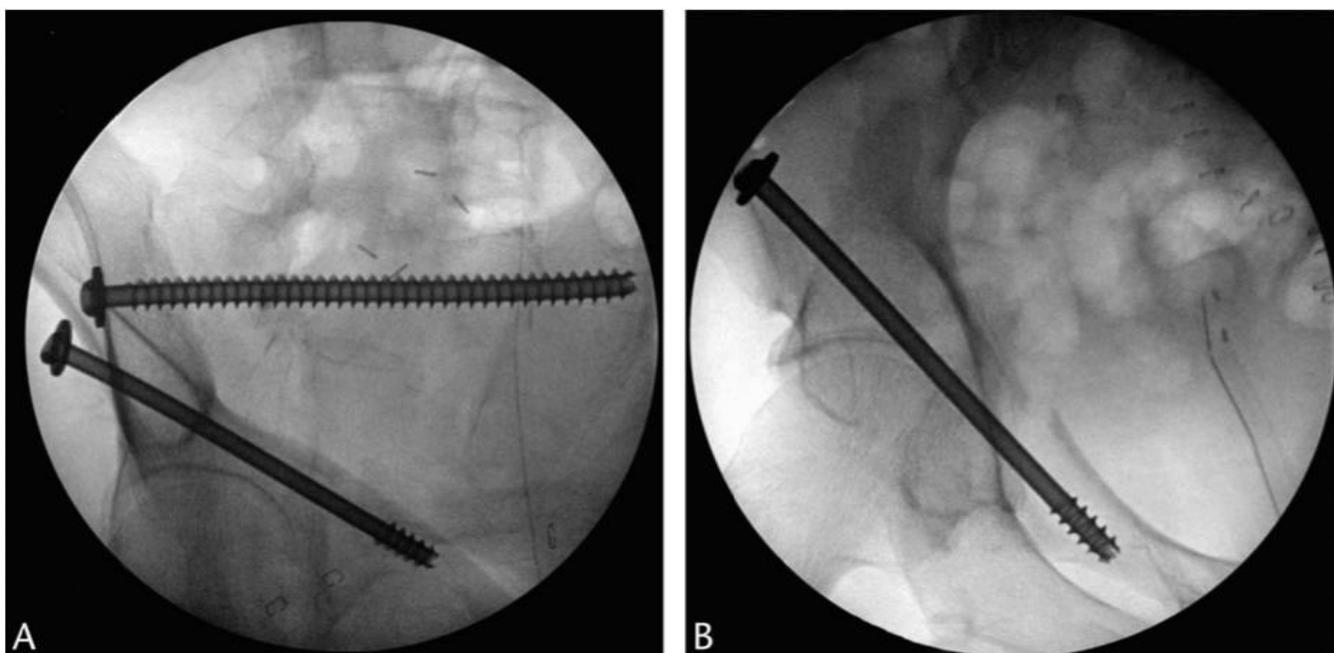
Marvin Tile (2003) describió la estabilidad pélvica, ya que el entendimiento es parte fundamental para el manejo de estas lesiones, confirmando que el anillo pélvico anterior funciona como un puntal para prevenir un colapso anterior durante el apoyo, sin embargo en ausencia congénitas y/o traumáticas tiene pequeño efecto en la estabilidad, en comparación del anillo posterior que es el encargado de la transmisión de las cargas desde la columna hasta las extremidades inferiores en un 95% y esto depende de la integridad de sus elementos (imagen 4), el anillo pélvico anterior solo representa el 5-7% de la transmisión de la carga, sin embargo no hay que subestimar estas lesiones, ya que pueden aumentar la morbilidad si no se fija hasta en 18.5%, morbilidad parecida al de fractura de cadera, además de perder la independencia en un 30% en el primer año. (Fensky 2019)



**Imagen 4.** El área de mayor carga es representada con las líneas diagonales representando el 95 % del total, el anillo pélvico anterior tan solo carga el 5% restante. (Marvin Tile 2003)

Existe poca evidencia o estudios aplicados sobre población mexicana, (Lucio et al. 2021) cuenta su experiencia en el tratamiento de fracturas de pelvis y acetábulo con cirugía mínimamente invasiva, en 531 pacientes del Hospital de Traumatología “ Dr. Victorio de la Fuente Narváez ” del periodo comprendido del 2009 al 2018, en donde tan solo 15 pacientes (3.3 %) presentaron algún tipo de complicación transquirúrgica y postquirúrgica, entre las que se encontraba el mal posicionamiento de material de osteosíntesis en 8 pacientes (1.8%), desanclaje o intolerancia del material de osteosíntesis en 5 pacientes (1.1%) e infección del sitio quirúrgico en dos pacientes (0.4%), estos resultados explican que las principales complicaciones se asocian a la técnica quirúrgica, al implante , esto ligado a la morfología geométrica individual de cada pelvis, por lo cual se recomienda la individualización y planeación individual por paciente, así que el entendimiento de la morfología corredor iliopubico ayudará a disminuir estas complicaciones que pesar de ser bajas sus consecuencia pueden ser catastróficas.

El entendimiento de la anatomía de la pelvis más la asistencia de la fluoroscopia son esenciales para evitar complicaciones catastróficas, la proyección como la obturatriz en salida es usada para asegurarnos que la guía o el tornillo no penetra la cavidad articular de la cadera, la proyección alar de entrada es usada para valorar que la cortical interna de la rama iliopúbica no es penetrada, este es un corredor estrecho y es necesario una colocación adecuada para evitar alguna estructura cercana como la arteria y nervio obturatriz, la corona mortis que se pone en peligro si el tornillo sale inferomedial. (Chengla 2014).



**Imagen 5 . Figura A se observa la proyeccion obturatriz de salida en el cual podemos valorar si existe violacion de la cavidad articular de la cadera. Figura B se observa la proyeccion alar de entrada en el cual podemos valorar si hay violacion de la cortical interna de la rama iliopubica. (Chengla 2014)**

En La imagen 5, la de lado derecho se podria pensar que el tornillo se encuentra de manera intraarticular, sin embargo con la ayuda de la imagen de salida en obturaztriz se aprecia la correcta colocacion en el corredor iliopúbico.

Los resultados de la cirugía mínimamente invasiva para el anillo pélvico anterior han demostrado superioridad frente a los tratamientos tradicionales. En un estudio retrospectivo de 26 anillos pélvicos anteriores tratados con cirugía mínimamente invasiva seguidos por 42 meses, en el cual evaluaron clínica y radiológicamente la evolución, alcanzando una tasa de satisfacción del 96.2 %, ninguno de ellos presentó pérdida de la reducción, o infección, las complicaciones encontradas fueron lesiones del nervio femorocutáneo, disconfort de la zona inguinal, concluyendo que de ser posible se recomienda la cirugía mínimamente invasiva para el tratamiento de las lesiones del anillo pélvico anterior de lesiones de pelvis tipo C. (Sun 2020).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Taxonomía de la investigación**

Se diseñó un estudio experimental básico de carácter explicativo.

### **Población y periodo de estudio**

Se realizó en el Hospital General del Estado “ Dr Ernesto Ramos Bours” durante mayo del 2023. Se utilizaron seis modelos sintéticos de espuma rígida de pelvis completa de la marca SawBones, 3 pelvis femeninas y 3 pelvis masculinas, un total de 12 hemipelvis.

### **Criterios de selección de la muestra**

#### **Criterios de inclusión**

Modelos sintéticos de espuma rígida de pelvis completa de la marca SawBones

### **Recursos empleados**

#### **Recursos físicos**

- 6 modelos de pelvis sintéticos de espuma rígida
- Cámara fotográfica (Iphone)
- Arduino modulo Sp32
- Pistón de presión
- 6 tornillos 3.5mm x 100mm rosca completa
- 6 tornillos 4.5mm x 80mm rosca completa
- 24 tornillo 6.5mm x 80mm rosca completa
- Hemiprotesis tipo Thompson 44mm
- Sierra Oscilante marca Traumafix
- Perforador eléctrico inalámbrico

- Compresor neumático marca Ridgid
- 4 clavos Kirschner 0.062
- Válvula de 5/2 selenoide

### **Recursos humanos**

Médico residente de cuarto año de Traumatología y Ortopedia

Médicos adscritos del servicio de Traumatología y Ortopedia del Hospital General del Estado “Dr Ernesto Ramos Bours”, asesores de la tesis Dr David Lomeli Zamora y Dr Juan Pablo Contréras Felix

Médico residente de segundo año de Traumatología y Ortopedia, Daniel López Tadeo

Dos estudiantes del último año de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Hermosillo, Karim Pineda Torres y Leonardo Tapia Vásquez

### **Recursos financieros**

Las necesidades financieras para la realización del protocolo de estudio serán a cargo por el médico residente y asesores a cargo de la investigación

### **Descripción metodológica del estudio**

Se utilizaron 6 pelvis sintéticas de espuma rígida de la marca SawBones, 3 pelvis masculinas y 3 pelvis femeninas (Imagen 1), a las cuáles se les realizó una serie de cortes con la ayuda de sierra oscilante para simular una lesión del pelvis tipo C con fractura de Sacro clasificación Dennis II y fractura de ambas ramas iliopúbicas clasificación Nakatani II. (Imagen 2). Las 3 pelvis masculinas fueron fijadas con 4 tornillos 6.5mm x 80mm en la articulación sacroiliaca, en S1 y S2 (anillo posterior) (anillo y con 2 tornillos 4.5mm x 80mm

retrógrados en ambos corredores iliopúbicos, las otras 3 pelvis femeninas fueron fijadas también con 4 tornillos 6.5mm x 80mm, pero con 2 tornillos 3.5mm x 100mm retrógrados en ambos corredores iliopúbicos, posteriormente se colocaron 4 clavos kirschner 0.062mm, 2 superiores a 1cm de cada lado de la fractura, y 2 anteriores a 1cm de cada lado de la fractura, de la hemipelvis que será sometida a la prueba en apoyo monopodálico sobre una hemiprotesis tipo Thompson de 44mm colocándose del mismo lado de la fractura.

Una vez unidos los huesos de la pelvis con los tornillos se colocaron en el dispositivo de cargas cíclicas con el pistón neumático movilizado con la ayuda de un compresor de aire, por medio de un Arduino (módulo sp32), que controla la carrera de dicho pistón mediante un cambio de dirección de flujo controlado por una válvula selenoide.

Para documentar el análisis biomecánico se realizó en base al protocolo de 6 pasos utilizados por (Becker et al. 2019} y por (McDonald 2015). (Tabla 1), como base de un protocolo en el que simulan el apoyo parcial temprano dentro de los primeros 28 días de postoperado. Se observa durante la prueba si existe o no desplazamiento entre los fragmentos fijados, considerando una falla en el constructo si existe un desplazamiento mayor a 10 mm entre los fragmentos, midiendo la distancia entre los cuatro clavos kirschner al principio y al final de la prueba, así como la distancia de la sínfisis de pubis, el desplazamiento de la rama iliopúbica y el cuerpo de S5 en compresión.



**Imagen 1. Pelvis sintéticas de espuma rígida de la marca SawBones, masculina y femenina**



**Imagen 2. Pelvis sintética femenina, con fracturas bilateral de sacro Dennis II y fractura bilateral de ambas ramas iliopúbicas fijada de lado derecho con tornillo 3.5mm.**

**PROTOCOLO DE 6 PASOS  
PARA LA PRUEBA  
BIOMECÁNICA**

<b>PASO 1</b>	Precarga a 200N para probar si el constructo es estable y soportará la prueba
<b>PASO 2</b>	Paso 2 Carga a 150 N durante 30 ciclos para establece una línea de base para la carga cíclica
<b>PASO 3</b>	Paso 3 Carga periódica: 25 ciclos con una frecuencia de 0,25Hz entre 150 y 200N
<b>PASO 4</b>	Carga de 150N por 30 ciclos hasta la línea base
<b>PASO 5</b>	Carga máxima hasta una fuerza de 350 N o un desplazamiento de 10mm ( para garantizar que la osteosíntesis probada aun sea estable)
<b>PASO 6</b>	Sistema de vuelta a su posición original

**Tabla 1. Protocolo de 6 para prueba biomecánica**

**Categorización de variables**

<i>Variable</i>	<i>Tipo de variable</i>	<i>Definición operacional</i>	<i>Escala de medición</i>	<i>Indicador</i>
<i>Desplazamiento de fragmentos</i>	Dependiente	Pérdida de la reducción posterior a cada prueba de cargas cíclicas	Cuantitativa	Mm
<i>Diámetro del tornillo retrógrado</i>	Independiente	Diámetro del alma del tornillo	Cuantitativa	Mm
<i>Fuerza aplicada</i>	Independiente	Fuerza aplicada al modelo por el pistón calculado en N	Cuantitativa	N
<i>Ciclos</i>	Independiente	Cantidad de veces que sube el pistón neumático	Cuantitativa	Ciclos

**Análisis estadístico**

Se realizó promedio de los datos obtenidos en Microsoft Excel (2010)

**Aspectos éticos**

Este estudio no implica consideraciones éticas debido a que no se utilizaran pacientes vivos y/o modelos cadavericos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fijación con tornillos retrógrado percutáneos en el corredor iliopúbico en fractura de la rama iliopúbica Nakatani II en lesiones de pelvis tipo C, previa fijación del anillo pélvico posterior con tornillos 6.5mm, resultó que ofrece estabilidad a nivel de la rama iliopúbica fracturada.

Todas las fracturas del anillo pélvico posterior fueron fijadas con tornillo 6.5 mm, 6 especímenes fracturados de la rama iliopúbica fueron fijados con tornillos 4.5 mm con un desplazamiento promedio de 1 mm y otros 6 especímenes fracturados de la rama iliopúbica fueron fijados con tornillos 3.5 mm de diámetro con un promedio de desplazamiento de 1mm, no encontrando diferencia entre las pelvis masculinas y femeninas. Durante el experimento de cargas cíclicas de 350 N, se observó un desplazamiento del anillo pélvico posterior desde 2 a 4 mm con un promedio de 2.5 mm en las pelvis masculinas y 3.5 mm en las pelvis femeninas, además se apreció una diástasis de la sínfisis de pubis desde 1 a 3 mm con un promedio de 3 mm en las pelvis masculinas y 1 mm en las pelvis femeninas, de acuerdo a estos resultados, los tornillos 3.5 mm bajo cargas cíclicas a 350 N en 2520 ciclos es biomecánicamente suficiente y estable, además del entendimiento del comportamiento diferente entre las pelvis femeninas y masculinas, encontrando mayor estabilidad en el plano vertical en las pelvis masculinas, es decir el anillo pélvico posterior se deforma menos que en las masculinas sin embargo en cuanto a la estabilidad en el plano horizontal las pelvis femeninas presentaron una menor deformidad en este plano en comparación de las pelvis masculinas. De acuerdo a los estudios (Fensky 2019) y (Marvin 2003) entendimos que el anillo pélvico anterior solo es responsable del 5 al 7% de la transmisión de la carga, por lo cual se sugiere la utilización de diámetros pequeños para evitar las complicaciones asociadas

al implante como lo demostró (Chen 2009) en su estudio anatomoradiológico intentando colocando de manera virtual un cilindro de 7.3mm de diámetro en el corredor iliopúbico encontrando imposible la colocación de este implante sin antes lesionar la cortical interna la rama iliopúbica, la superficie articular o en el peor de los casos ambos, por lo cuál los resultados de este estudio estan a favor la utilización de diámetros de 4.5 mm y 3.5 mm siendo este último biomecánicamente suficiente y estable como (Routt 1995 y Attias 2005) sugerian en sus trabajos.

	<b>DESPLAZAMIENTO ANTERIOR DE LA RAMA ILIOPÚBICA <i>PROMEDIO</i></b>	<b>DESPLAZAMIENTO SUPERIOR DE LA RAMA ILIOPÚBICA <i>PROMEDIO</i></b>	<b>DESPLAZAMIENTO DE LA SINFISIS DE PUBIS <i>PROMEDIO</i></b>	<b>DESPLAZAMIENTO DEL ANILLO PÉLVICO POSTERIOR <i>PROMEDIO</i></b>
<b>ESPECIMEN 1 TORNILLO 4.5 MM</b>	<b>1 mm</b>	<b>1 mm</b>	<b>3 mm</b>	<b>2.5 mm</b>
<b>ESPECIMEN 2 TORNILLO 4.5 MM</b>	<b>1 mm</b>	<b>1 mm</b>	<b>3 mm</b>	<b>2.5 mm</b>
<b>ESPECIMEN 3 TORNILLO 4.5 MM</b>	<b>1 mm</b>	<b>1 mm</b>	<b>3 mm</b>	<b>2.5 mm</b>
<b>ESPECIMEN 4 TORNILLO 3.5 MM</b>	<b>1 mm</b>	<b>1 mm</b>	<b>1 mm</b>	<b>3.5 mm</b>
<b>ESPECIMEN 5 TORNILLO 3.5MM</b>	<b>1 mm</b>	<b>1 mm</b>	<b>1 mm</b>	<b>3.5 mm</b>
<b>ESPECIMEN 6 TORNILLO 3.5MM</b>	<b>1 mm</b>	<b>1 mm</b>	<b>1 mm</b>	<b>3.5 mm</b>

**Tabla 1. Resultados promedios de pruebas biomecánicas**

## CONCLUSIONES

La fijación de la rama iliopúbica anterior con tornillo 3.5 mm en fracturas de la rama iliopúbica previamente fijado el anillo pélvico posterior con tornillo 6.5mm de diámetro, es biomecánicamente estable y suficiente. En los modelos sintéticos de pelvis masculinas y femeninas se encontrarán diferencias, como por ejemplo mayor desplazamiento en la sínfisis de pubis en los hombres pero menos en el anillo pélvico posterior y en las femeninas encontramos menor desplazamiento en la sínfisis de pubis pero mayor desplazamiento en el anillo pélvico posterior, se comportan de manera diferente esto debido a la anatomía de la pelvis, con un diámetro transversal mas ancho en las mujeres encontrando mayor desplazamiento en este sentido, y en las pelvis masculinas un diámetro anteroposterior encontrando mayor resistencia a las deformidades en el plano transversal, pero mayor en el plano coronal.

## LITERATURA CITADA

1. Routt ML Jr, Simonian PT, Grujic L. The retrograde medullary superior pubic ramus screw for the treatment of anterior pelvic ring disruptions: a new technique. *J Orthop Trauma*. 1995;9:35–44.
2. Routt M, Kregor P, Simonian P, et al. Early results of percutaneous iliosacral screws placed with the patient in the supine position. *J Orthop Trauma*. 1995;5:207–214
3. Routt ML Jr, Simonian PT, Grujic L. The retrograde medullary superior pubic ramus screw for the treatment of anterior pelvic ring disruptions: a new technique. *J Orthop Trauma*. 1995;9:35–44.
4. Attias N, Lindsey RW, Starr AJ, et al. The use of a virtual three- dimensional model to evaluate the intraosseous space available for percutaneous screw fixation of acetabular fractures. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87:1520–1523.
5. Mosheiff, R. & Liebergall, M. Maneuvering the retrograde medullary screw in pubic ramus fractures. *J. Orthop. Trauma* 16(8), 594–596 (2002).
6. Suzuki, T. *et al.* Anatomic study for pubic medullary screw insertion. *J. Orthop. Surg. (Hong Kong)* 16(3), 321–325 (2008).
7. Chen, K. N. *et al.* Differences of percutaneous retrograde screw fixation of anterior column acetabular fractures between male and female: A study of 164 virtual three-dimensional models. *Injury* 40(10), 1067–1072 (2009).

8. Starr AJ, Reinert CM, Jones AL. Percutaneous fixation of the columns of the acetabulum: a new technique. *J Orthop Trauma*. 1998;12:51–58.
9. McLachlin, S. *et al.* Biomechanical analysis of anterior ring fixation of the ramus in type C pelvic fractures. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 44(2), 185–190 (2018).
10. Weatherby, D. J., Chip Routh Jr, M. L. & Eastman, J. G. The retrograde-antegrade-retrograde technique for successful placement of a retrograde superior ramus screw. *J. Orthop. Trauma* 31(7), 224–229 (2017).
11. Mosheiff, R. & Liebergall, M. Maneuvering the retrograde medullary screw in pubic ramus fractures. *J. Orthop. Trauma* 16(8), 594–596 (2002).
12. McDonald E, Theologis AA, Horst P, Kandemir U, Pekmezci M. When do anterior external or internal fixators provide additional stability in an unstable (Tile C) pelvic fracture? A biomechanical study. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2015;41:665–71.
13. Becker CA, Kammerlander C, Cavalcanti Kußmaul A, Dotzauer F, Woiczinski M, *et al.* Minimally invasive screw fixation is as stable as anterior plating in acetabular T-Type fractures – a biomechanical study. *Orthop Traumatol Surg Res* 2018;104:1055–61.
14. Becker CA, Kammerlander C, Kusmaul AC, Woiczinski M, Thorwächter C, *et al.* Modified less invasive anterior subcutaneous fixator for unstable Tile-C-pelvic ring fractures: a biomechanical study. *Biomed Eng Online* 2019;18:38.
15. McDonald E, Theologis AA, Horst P, Kandemir U, Pekmezci M. When do anterior external or internal fixators provide additional stability in an unstable (Tile C) pelvic fracture? A biomechanical study. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2015;41:665–71.

16. Arand, C. *et al.* 3D statistical model of the pelvic ring ACT-based statistical evaluation of anatomical variation. *J. Anat.* 234(3), 376–383 (2019).
17. McLachlin, S. *et al.* Biomechanical analysis of anterior ring fixation of the ramus in type C pelvic fractures. *Eur. J. Trauma Emerg. Surg.* 44(2), 185–190 (2018).
18. Weatherby, D. J., Chip Routh Jr, M. L. & Eastman, J. G. The retrograde-antegrade-retrograde technique for successful placement of a retrograde superior ramus screw. *J. Orthop. Trauma* 31(7), 224–229 (2017).
19. Mosheiff, R. & Liebergall, M. Maneuvering the retrograde medullary screw in pubic ramus fractures. *J. Orthop. Trauma* 16(8), 594–596 (2002).
20. McDonald E, Theologis AA, Horst P, Kandemir U, Pekmezci M. When do anterior external or internal fixators provide additional stability in an unstable (Tile C) pelvic fracture? A biomechanical study. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2015;41:665–71.
21. Becker CA, Kammerlander C, Cavalcanti Kußmaul A, Dotzauer F, Woiczinski M, *et al.* Minimally invasive screw fixation is as stable as anterior plating in acetabular T-Type fractures – a biomechanical study. *Orthop Traumatol Surg Res* 2018;104:1055–61.
22. Becker CA, Kammerlander C, Kusmaul AC, Woiczinski M, Thorwächter C, *et al.* Modified less invasive anterior subcutaneous fixator for unstable Tile-C-pelvic ring fractures: a biomechanical study. *Biomed Eng Online* 2019;18:38.
23. McDonald E, Theologis AA, Horst P, Kandemir U, Pekmezci M. When do anterior external or internal fixators provide additional stability in an unstable (Tile C) pelvic fracture? A biomechanical study. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2015;41:665–71.

24. Arand, C. *et al.* 3D statistical model of the pelvic ring: A CT-based statistical evaluation of anatomical variation. *J. Anat.* 234(3), 376–383 (2019).
25. Quercetti, N. 3rd. *et al.* Gun barrel view of the anterior pelvic ring for percutaneous anterior column or superior pubic ramus screw placement. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 27(5), 695–704 (2017).
26. Simonian, P. T. *et al.* Internal fixation of the unstable anterior pelvic ring: A biomechanical comparison of standard plating techniques and the retrograde medullary superior pubic ramus screw. *J. Orthop. Trauma* 8(6), 476–482 (1994).
27. Mouhsine E, Garofalo R, Borens O *et al* (2005) Percutaneous retrograde screwing for stabilisation of acetabular fractures. *Injury* 36(11):1330–1336
28. Schildhauer TA, Ledoux WR, Chapman JR, *et al.* Triangular osteosynthesis and iliosacral screw fixation for unstable sacral fractures: A cadaveric and biomechanical evaluation under cyclic loads. *J Orthop Trauma.* 2003;17:22–31.
29. Starr AJ, Nakatani T, Reinert CM, *et al.* Superior pubic ramus fractures fixed with percutaneous screws: What predicts fixation failure? *J Orthop Trauma.* 2008;22:81–87.

