

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE MEDICINA**



**Título:**

**Modelo cadavérico para entrenamiento de punción  
percutánea para procedimiento endoscópico renal.**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
ESPECIALISTA EN UROLOGÍA**

**Tesista:**

**Dr. José Iván Robles Torres**

Hospital Universitario "Dr. José Eleuterio González"

Enero de 2023, Monterrey, Nuevo León. México.

**Modelo cadavérico para entrenamiento de punción percutánea para  
procedimiento endoscópico renal.**

**Aprobación de tesis:**



**Dr. med Lauro Salvador Gómez Guerra  
Director de la tesis**



**Dr. Rodolfo Jaime Dávila  
Coordinador de Enseñanza**



**Dr. Lauro Salvador Gómez Guerra  
Coordinador de Investigación**



**Dr. Adrián Gutiérrez González  
Profesor Titular del Programa**



**Dr. med. Felipe Arturo Morales Martínez  
Subdirector de Estudios de Posgrado**

## Dedicatoria y agradecimientos

Nuestra profesión tiene diversas peculiaridades que se distinguen de otras profesiones. Trabajamos con seres humanos, fomentando constantemente una simbiosis médico-paciente, con un objetivo en común: preservar la salud. La medicina conlleva muchos retos y sacrificios. La preparación del médico y el especialista en formación esta sujeta a constante exigencia y perfección, porque cada acción repercute en la salud de un individuo y un error podría significar la vida misma. Es por esto, que el camino no es nada fácil, que la preparación nunca termina porque constantemente habrá algo nuevo en la medicina.

Han pasado más de 10 años desde que comencé este camino. Desde la carrera de medicina, hasta mi último año de especialidad. He tenido grandes experiencias y recuerdos que perdurarán el resto de mi vida. Algunos fueron buenos, otros no tanto, pero cada momento viene con una lección. Para llegar aquí, tuve que leer y estudiar largas horas, pasar noches despierto en el hospital, dejar a un lado la comodidad de mi hogar, ayunar por largas jornadas, aprender nuevas técnicas quirúrgicas, enseñar a mis compañeros lo poco que yo se, aprender a tratar al paciente... en fin, son años que me formaron y me han hecho lo que soy el día de hoy.

Es imposible poder alcanzar tus metas solo. Es parte de la naturaleza del hombre actuar en manada. De no ser por las personas que siempre me apoyaron, que estuvieron a mi lado, que me asesoraron y guiaron en el camino, las cosas hubieran sido diferentes.

Quiero agradecer a mi familia por tantos años de estar apoyándote incondicionalmente. A mi papá, que siempre me aconsejó para tomar la mejor decisión y estuvo siempre pendiente de mis necesidades. Mi mamá, por todo el cariño y la empatía, que siempre fue alguien con quien podía sentirme acompañado a pesar de estar en distintas ciudades. A mis hermanos, por años de convivencia, de diversión y apoyo. Durante los últimos años, me tocó tomar una de las mejores decisiones de mi vida y comenzar mi propia familia. En esta parte de mi vida se introduce mi esposa, quien es y será mi compañera de vida, mi mejor amiga, mi consejera y más grande socia. Fue un cambio radical, en el cual uno reajusta sus prioridades y se comparte un proyecto de vida en armonía. Ahora la vida me ha bendecido con la oportunidad de ser papá. Mi pequeña Ana María, me ha enseñado tanto en tan poquito tiempo. Es una razón más para esforzarme y dar siempre lo mejor de mi.

Estoy convencido de haber escogido bien mi especialidad. En esta decisión influye directamente mi mentor, Dr. Wolfgang Willem López, quien me impulsó desde el comienzo y creyó siempre en mi.

Cada uno de las personas que participaron para que este logro llegara, les agradezco de corazón por todo lo que hicieron por mi.

José Iván Robles Torres

# ÍNDICE

<b>Capítulo I</b>	
1. RESUMEN	5
<b>Capítulo II</b>	
2. INTRODUCCIÓN	6
3. ANTECEDENTES	10
4. JUSTIFICACIÓN	12
<b>Capítulo III</b>	
5. HIPÓTESIS	13
<b>Capítulo IV</b>	
6. OBJETIVOS	14
<b>Capítulo V</b>	
7. MATERIAL Y MÉTODOS	15
<b>Capítulo VI</b>	
8. RESULTADOS	20
<b>Capítulo VII</b>	
9. DISCUSIÓN	22
<b>Capítulo VIII</b>	
10. CONCLUSIÓN	26
11. CONFLICTOS DE INTERÉS	26
<b>Capítulo IX</b>	
12. ANEXOS	
12.1. TABLAS	27
12.2. FIGURAS	29
<b>Capítulo X</b>	
13. REFERENCIAS	32

# CAPÍTULO I

## 1. RESUMEN

### Introducción

La obtención de un acceso renal percutáneo sigue siendo un desafío para el urólogo. Los modelos de entrenamiento permiten reducir la curva de aprendizaje, tiempo quirúrgico y complicaciones. El objetivo de este estudio es describir un modelo de entrenamiento cadavérico para acceso renal percutáneo.

### Material y Métodos

Se desarrolló un modelo cadavérico de entrenamiento para acceso renal percutáneo guiado por fluoroscopia. Las punciones se realizaron mediante técnica de triangulación en decúbito supino. Se evaluó a 4 residentes de urología comparando las punciones iniciales asesorados por un experto y punciones de prueba realizadas posteriormente sin un asesor. Se evaluó el porcentaje de éxito, el número de intentos por punción y el tiempo de radiación.

### Resultados

Se utilizaron 10 riñones de 6 modelos cadavéricos. El total de punciones realizadas fue de 119, siendo 73 (61.4%) punciones iniciales y 46 (38.6%) de prueba, con una media de  $12 \pm 9.92$  punciones por riñón. La tasa de éxito por punción fue del 50.4% (60/119), el tiempo medio de radiación fue de  $1.3 \pm 0.8$  min. El éxito de punciones iniciales fue del 41% (30/73) y del 65.2% (30/46) en las punciones prueba ( $p < 0.01$ ). El tiempo de fluoroscopia fue de  $1.49 \pm 0.95$  min y  $1.07 \pm 0.52$  min ( $p < 0.01$ ), respectivamente, siendo significativamente mayor en los primeros.

### Conclusiones

El modelo de entrenamiento propuesto es una herramienta útil y reproducible para el acceso renal en procedimientos percutáneos para el urólogo en formación. La exposición a la radiación entre practicantes es una desventaja que debe tenerse en consideración.

## CAPÍTULO II

### 2. INTRODUCCIÓN

La nefrolitotomía percutánea es un procedimiento quirúrgico que consiste en la punción del riñón a través de la piel con la intención de crear un acceso sobre las cavidades renales y poder extraer los litos ubicados dentro del riñón y ureter proximal. (1) Este procedimiento está indicado para litos grandes (>2cm) y litos complejos que se encuentran en calices, pelvis renal o unión uretero-piélica. La primera nefrolitotomía percutánea documentada fue en el año 1976, llevada a cabo con el paciente en decúbito prono, con la intención de sustituir la cirugía abierta que previamente había sido el manejo de elección para litos grandes en riñón. (2)

En 1988, el dr. Gabriel Valdivia llevó a cabo el primer procedimiento con el paciente en decúbito supino para nefrolitotomía percutánea. Esta posición tiene la ventaja de poder llevar a cabo de forma simultánea el procedimiento retrógrado por vía transuretral para ureteroscopia y al mismo tiempo llevar a cabo el procedimiento percutáneo. Además, no tiene el inconveniente de los problemas ventilatorios ocasionados por la posición en prono del paciente. (3) Desde entonces ha estado en constante discusión sobre la posición con los mejores resultados y mayor seguridad. Sin embargo, hasta el momento actual la evidencia disponible no muestra la superioridad de un procedimiento sobre otro. Ambas posiciones han demostrado ser igualmente seguras. Se han demostrado tiempos de cirugía más prolongados en la posición en prono, pero con una tasa libre de litos superior a la supina. Adicionalmente, la posición en prono permite mayores áreas de punción que la supina, siendo el método de preferencia para tener acceso al polo superior del riñón y en aquellos casos en que se requieran más de una punción. La posición en supino ha demostrado tener menor tiempo quirúrgico y menor tasa de sangrado y requerimiento transfusional. (4)

Son múltiples las técnicas descritas para puncionar y tener acceso a las cavidades renales. La correcta identificación anatómica del sistema colector ha sido considerada la clave para un correcto abordaje. La anatomía del sistema colector está llena de variantes y son varios los métodos que permiten estudiar la anatomía. El uso de ultrasonido y la fluoroscopia son los métodos más comúnmente utilizados. (5)

La fluoroscopia requiere que previamente se lleve a cabo una pielografía retrógrada realizada mediante cistoscopia e inyectando material de contraste a través del meato ureteral para que la imagen radiográfica permita diferenciar las cavidades renales previamente impregnadas de material de contraste

radioopaco. El ultrasonido renal es un método sencillo y libre de radiación para guiar la punción. Sin embargo, tiene el inconveniente de ser operador-dependiente. Además, la complejidad es significativamente mayor cuando el riñón no presenta dilatación de cavidades. Otro procedimiento introducido recientemente es la punción por "Endovision". Este método de punción consiste en acceder a las cavidades renales con una vista endoscópica en tiempo real dentro de las cavidades renales mediante ureteroscopía retrógrada. El acceso se obtiene visualizando desde adentro del riñón el sitio de punción. (6)

Algunas técnicas descritas para punción son la técnica de triangulación, técnica de tiro al blanco y la técnica de 0-90 grados. Todos estos procedimientos son descritos utilizando como guía las imágenes fluoroscópicas. En términos generales, la selección del cáliz de entrada será siempre determinado de forma transoperatoria, siendo el cáliz posterior el abordaje preferente. (7)

Una vez obtenido el acceso a las cavidades renales, el siguiente paso es la dilatación del trayecto para poder acceder con el equipo quirúrgico. Al igual que las técnicas de punción, también se han descrito distintas técnicas para la dilatación.

La dilatación secuencial utiliza los dilatadores tipo Amplatz, las cuales son relativamente flexibles y presentan una punta en cono que permite una mayor movilización dentro del riñón y menor trauma renal. Se lleva a cabo una dilatación en secuencia, introduciendo dilatadores de calibres cada vez mayores de uno en uno progresivamente hasta obtener el calibre que se desea. Tiene el inconveniente de ser más tardado y por ende mayor tiempo de exposición a la radiación. La dilatación telescópica utiliza los dilatadores tipo Alken, los cuales son dilatadores metálicos rígidos con punta roma. Esta dilatación permite ir introduciendo sobre el dilatador previo sin necesidad de ir retirando los dilatadores conforme se va agregando los de mayor calibre (dilata sobre el mismo dilatador). Tiene la desventaja de ser más traumático para el parénquima renal. Sin embargo, presenta la gran ventaja de ser más rápido y por lo tanto permite una menor exposición a la radiación. Es ideal para calices que se encuentran tomados en su totalidad por lito por la rigidez del dilatador.

La dilatación "One Shot" utiliza los dilatadores de Amplatz con la diferencia que, en lugar de ir dilatando de forma secuencial, lo lleva a cabo en un solo paso colocando el dilatador del calibre a seleccionar desde un comienzo. Requiere gran fuerza para perforar fascia y la cápsula renal y no se recomienda en pacientes con cirugía renal previa. El balón dilatador es otra alternativa para realizar la dilatación del acceso de entrada. Consiste en un dispositivo tipo catéter que se introduce por el sitio de punción a las

cavidades renales. Una vez confirmada la correcta colocación se infla un globo que se encuentra en el extremo distal del catéter para así poder llegar a cabo la dilatación del parénquima renal. Requiere mayor tiempo, el costo es mayor comparado a las otras técnicas y representa un mayor riesgo de sangrado. (1)

Hasta el momento, no se ha demostrado la superioridad de uno de estos procedimientos sobre otro en cuanto a seguridad y eficacia. La diferencia en los resultados parece ser más relacionada con la experiencia del cirujano y el dominio del método de punción y dilatación. (4)

El siguiente paso en la nefrolitotomía percutánea consiste en la litotricia, que se refiere al método empleando para fragmentar y extraer los litos. Este procedimiento se puede llevar a cabo mediante distintas modalidades de litotricia, incluidos el litotriptor neumático, ultrasónico, tecnología combinada (neumático y ultrasónico), electrohidráulico y con láser de holmio.

Se han descrito múltiples lesiones al momento de realizar el acceso percutáneo. El más frecuente es la fiebre postoperatoria y se debe a una respuesta inflamatoria sistémica asociada a la movilización de bacterias en el sistema colector. Otra complicación frecuente es el sangrado y los hematomas renales. Habitualmente son autolimitados y no requieren de otra intervención adicional. Las lesiones a órganos vecinos es una complicación menos frecuente, pero que debemos tener en consideración por la gravedad que conlleva. El colon es el órgano que más frecuentemente se lesiona debido a su cercanía con el riñón. La punción advertida a la pleura es poco frecuente, pero puede presentarse sobretodo cuando se decide realizar un abordaje a cáliz superior. (1)

Se sabe que la curva de aprendizaje para la nefrolitotomía percutánea sigue siendo un problema importante. Aunque el paso más difícil parece ser la capacidad de obtener un acceso adecuado a las cavidades renales, que reduce el riesgo de lesión vascular y conduce a una mayor tasa libre de cálculos, otros resultados como la tasa libre de cálculos y la necesidad de procedimientos auxiliares también se puede utilizar para valorar la capacidad del urólogo para llevar a cabo satisfactoriamente este procedimiento. Hay muy pocos estudios sobre las técnicas de enseñanza para acceso percutáneo y nefrolitotomía. Algunas opciones descritas para el aprendizaje son los simuladores inanimados, realidad virtual y modelos cadavéricos, proporcionan nuevas perspectivas en el siglo XXI.

Obtener un acceso percutáneo continúa siendo un reto para el urólogo. Se estima que el 69.6% de los urólogos realiza procedimientos percutáneos sobre riñón. En un estudio en Estados Unidos, se calculó que solo el 11% de los urólogos que realizaban nefrolitotomía percutánea, realizaba por si mismo el acceso percutáneo, siendo el radiólogo intervencionista el principal en llevar a cabo el acceso. (8)

En orden para determinar la curva de aprendizaje en este procedimiento, se requiere establecer marcadores de calidad quirúrgica para obtener la competencia suficiente. Para determinar la curva de aprendizaje en nefrolitotomía percutánea se han propuesto algunos marcadores de competencia. Algunos de los más importantes es la tasa libre de litos y de complicaciones. (9) En otro estudio dirigido por Allen et al utilizó el tiempo fluoroscopia y el número de disparos. Determinaron que la curva de aprendizaje se alcanza después de 60 casos y la excelencia posterior a los 115 procedimientos. (10) En un estudio en Estados Unidos reportó que los residentes en urología se encontraban seguros de realizar este procedimiento después de  $21.2 \pm 4.5$  accesos. Estos autores sugieren que realiza  $>24$  accesos percutáneos durante la residencia podrían mejorar la seguridad y el desempeño del residente posterior a culminar el programa de residencia. (11)

El objetivo de los modelos de entrenamiento es reducir la curva aprendizaje, el tiempo quirúrgico, mejorar la tasa libre de litos y reducir al máximo las complicaciones asociadas al procedimiento. Actualmente, son pocos los modelos que se han desarrollado para el entrenamiento urológico. Los modelos animales permiten un modelo biológico semejante al cuerpo humano, siendo el modelo porcino el más utilizado. Sin embargo, aun presenta diferencias muy importantes respecto a la anatomía del cuerpo humano. Un limitante importante respecto al modelo porcino son las características de la piel, siendo difícil de puncionar en muchas ocasiones. (12)

Existen dos tipos de simuladores: inanimados y simuladores de realidad virtual. Los modelos inanimados pueden ser biológicos y no biológicos. Los no biológicos han utilizado distintos riñones de animales para recrear la anatomía en sitio de punción. Suelen ser modelos de bajo costo. Pero tienen la desventaja de estar ausentes los movimientos respiratorios. A pesar de los exhaustivos esfuerzos, son pocos los artículos publicados que hablan sobre la utilidad y su correlación con la adquisición de destreza sobre el paciente in-vivo. (13) Los simuladores de realidad virtual permiten recrear un ambiente semejante al presentado en el paciente mediante imágenes generadas por computadora. Permite una experiencia libre de estrés, simula los movimientos respiratorios y se ha demostrado una reducción de la curva de aprendizaje. La experiencia en el campo de la urología es limitada. La mayoría de la literatura con relación a entrenamiento por realidad virtual está dirigida a endoscopia gastrointestinal, cirugía laparoscópica y ureteroscopia. (14) Hasta el momento, no se tiene literatura que evalúe los simuladores de realidad virtual para nefrolitotomía percutánea. (15)

Los modelos cadavéricos han sido otra opción atractiva para el entrenamiento del urólogo y otras especialidades quirúrgicas. A la fecha, se ha publicado solo un estudio que evaluó el uso de un modelo cadavérico para la punción percutánea de riñón guiada por ultrasonido en posición supina. Los resultados obtenidos fueron muy prometedores, con altas tasas de satisfacción y gran semejanza al paciente vivo. (16) En otro estudio dirigido por Castle SC et al evaluaron un modelo cadavérico para el entrenamiento de la punción y colocación de agujas de radiofrecuencia y ablación tumoral en riñón, presentando resultados muy prometedores. (17)

### 3. ANTECEDENTES

Los cadáveres humanos seguirán siendo un recurso importante en los programas de capacitación, ya que se cree que son el mejor método de simulación en formación. Cadáveres embalsamados con formalina tienen la desventaja de tener un olor desagradable y exhiben calidad alterada del tejido humano en términos de color y flexibilidad tisular.

El cadáver embalsamado con técnica de Thiel ha ganado reconocimiento mundial desde la introducción en 1992. Esta técnica de embalsamamiento de bajo olor da como resultado órganos bien conservados y consistencia tisular.

A continuación, se demuestra un resumen de los modelos vigentes para entrenamiento en nefrolitotomía percutánea (16):

Resumen de los modelos de entrenamiento actuales para nefrolitotomía percutánea

Modelo de entrenamiento	Ventajas	Desventajas
"Benchtop models"	Relativamente barato. Puede usarse repetida y regularmente. Permitir personalización.	Falta de retroalimentación táctil. Falta de movimientos respiratorios. La anatomía no siempre es similar a la de la vida real. Sin simulación de procedimiento completa.
Simuladores de realidad	Puede usarse repetida y	Caro en compra

virtual	<p>regularmente.</p> <p>Puede evaluar y registrar el desempeño de los alumnos.</p> <p>Evaluación objetiva.</p> <p>Varios niveles de dificultad de entrenamiento.</p>	<p>Sin simulación de procedimiento completa.</p> <p>La retroalimentación táctil sensorial no es 100% realista.</p> <p>La percepción de profundidad no es 100% realista.</p> <p>Solo posicionamiento boca abajo.</p>
Modelos animales (in vivo o ex vivo)	<p>Retroalimentación táctil.</p> <p>Puede tener una anatomía comparable.</p> <p>Puede tener movimientos respiratorios realistas.</p> <p>Es posible una simulación de procedimiento completa.</p>	<p>No es posible el uso repetido o regular.</p> <p>La preparación del modelo lleva mucho tiempo y es caro.</p> <p>Se necesitan servicios veterinarios de apoyo.</p> <p>Posibles problemas éticos de los animales</p>
<p>Cadáveres humanos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cadáveres embalsamados por Thiel.</li> <li>• Cadáver congelado fresco.</li> <li>• Cadáveres embalsamados con formalina.</li> </ul>	<p>Retroalimentación táctil.</p> <p>Anatomía realista.</p> <p>Es posible una simulación de procedimiento completa.</p> <p>Nefrolitotomía percutánea en decúbito prono y supino.</p> <p>Puede usarse repetida y regularmente.</p>	<p>Caro en compra.</p> <p>Falta de movimientos respiratorios.</p>

Obtenido de Veys R et al. BJUI. 2020;125(4):579-85

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente, no se tiene un modelo cadavérico estandarizado para la punción renal en nefrolitotomía percutánea. El modelo cadavérico brinda una simulación anatómica muy cercana a la experiencia quirúrgica sobre el paciente vivo, favoreciendo en la reducción de la curva de aprendizaje del urólogo en formación, mejorando la seguridad y eficacia del acceso renal.

## CAPÍTULO III

### 5. HIPOTESIS

H1. El modelo cadavérico de entrenamiento para acceso renal percutáneo es una herramienta útil para el urólogo en entrenamiento y reproducible.

H0. El modelo cadavérico de entrenamiento para acceso renal percutáneo no es una herramienta que beneficie al urólogo en formación y resulta ser no reproducible.

H1. El modelo de entrenamiento cadavérico permite disminuir la curva de aprendizaje en el acceso renal percutáneo medido por intentos por punción y tiempo de fluoroscopia.

H0. El modelo de entrenamiento cadavérico no logra disminuir la curva de aprendizaje en el acceso renal percutáneo medido por intentos de punción y tiempo de fluoroscopia.

H1. La curva de aprendizaje utilizando el modelo cadavérico de entrenamiento propuesto es semejante entre la posición supina y posición prona.

H0. La curva de aprendizaje utilizando el modelo cadavérico de entrenamiento propuesto difiere entre la posición supina y posición prona.

## CAPÍTULO IV

### 6. OBJETIVOS

#### Objetivo general

Crear un modelo cadavérico de entrenamiento para punción percutánea renal para el abordaje de procedimiento endourológico renal.

#### Objetivos específicos

1. Describir paso a paso la preparación del modelo cadavérico de entrenamiento para punción renal percutánea
2. Utilizar el modelo cadavérico para la descripción de la técnica de punción renal percutánea.
3. Establecer el número de punciones que permite ejercer cada riñón (durabilidad) del modelo cadavérico
4. Evaluar la curva de aprendizaje utilizando el modelo cadavérico tomando en consideración el tiempo de fluoroscopia
5. Evaluar la curva de aprendizaje utilizando el modelo cadavérico tomando en consideración los intentos necesarios por punción
6. Comparar las curvas de aprendizaje, medidas por tiempo de fluoroscopia e intentos por punción renal, en la técnica de punción en posición supina y posición prona.

## CAPÍTULO V

### 7. Material y Métodos

#### Diseño del estudio

Se realizará un estudio prospectivo experimental y analítico en el laboratorio de anatomía clínica y de entrenamiento quirúrgico (LACEQ) de la facultad de medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), en el periodo de junio 2022 a enero 2023.

Se incluirán 7 cadáveres embalsamados para la preparación del modelo de entrenamiento. Los cadáveres serán previamente embalsamados con una técnica de carbowax, los cuales son conservados a una temperatura de 2 grados centígrados. Para la punción se utilizará una aguja Chiba 18 Gauge/20 cm. Las punciones serán guiadas mediante imágenes radiográficas, para lo cual se utilizará un fluoroscopio con arco en C móvil.

#### Protección contra radiación

Se utilizará equipo de protección para radiación, incluyendo chaleco de plomo, protector tiroideo, guantes plomados y lentes plomados. Se verificará la utilización apropiada del equipo de protección contra radiación previo al uso de radiación. Además, se seguirá el principio de seguridad "tan bajo como sea posible" (siglas en inglés ALARA, "*as low as reasonably achievable*") para la exposición a radiación. Como medida de protección adicional, se llevarán acabo las punciones de forma periódica restringido a una sesión semanal y alternando a los participantes que utilizarán el cadáver que reducir tiempo de radiación. Además, se tomará como medida de protección adicional la restricción de tiempo de radiación a no más de 3 minutos de exposición por sesión o una radiación ionizante efectiva recibida por el participante no mayor de 1 mSv.

#### Criterios de inclusión:

- Modelo cadavérico entre 18 años y 80 años.
- Modelo cadavérico de ambos sexos.

#### Criterios de exclusión:

- Modelo cadavérico con cambios pre mortem o post mortem que alteren la anatomía original de la región retroperitoneal o abdominal.

#### Criterios de eliminación:

- Modelo cadavérico con anatomía mal conservada en la zona a intervenir que impida el correcto análisis y descripción de las variables.

#### Preparación del Modelo de entrenamiento

La preparación comienza con una incisión suprapúbica en la línea media con extensión hacia ambos pliegues inguinales. Se disecciona la pared abdominal hasta alcanzar la vejiga. Se realiza una amplia cistostomía en línea media vertical y posteriormente se identifican ambos meatos ureterales. Se canalizan con una guía hidrofílica y un catéter ureteral open-end (**Figura 1**). Una vez corroborado el ascenso de la guía hacia el uréter, se realiza pielografía retrógrada con contraste yodado con el objetivo de confirmar la correcta canalización del sistema colector por imagen fluoroscópica (**Figura 2**). Se marca la topografía de la undécima y duodécima costillas, la cresta ilíaca y la línea axilar posterior, lo cual permite identificar la zona de seguridad para punción (**Figura 3**).

#### *Técnica de punción*

Se posiciona el cadáver en ángulo de 20 grados con respecto a la mesa quirúrgica. La punción percutánea se realiza en decúbito supino guiado por fluoroscopia. Se introduce la aguja sobre el sitio de punción previamente identificado como la zona de seguridad. Se selecciona una papila renal para acceder y se introduce la aguja mediante técnica de triangulación (**Figura 4**). Una vez alcanzada la papila renal, se confirma el acceso al sistema colector mediante el retorno de líquido a través de la aguja.

Variables de estudio y procedimientos generales.

#### Pielografía retrógrada

Incisión línea media infrapúbica, se disecciona vejiga y se realiza cistostomía. Se ubican meatos ureterales y se coloca sonda de alimentación de 8Fr abocado. Se infiltra material de contraste retrógrado. Se confirma la imagen radioopaca de contraste por fluoroscopia. Se fija sonda en vejiga y se cierra pared abdominal con salida de la sonda a través de la pared abdominal.

Punción guiada por Fluoroscopia (Arco en C).

Se toman imágenes de la topografía renal para corroborar correcta colocación del arco en C. Se infiltra material de contraste a través de la sonda de alimentación previamente colocada. Se realiza la punción en la topografía usual de punción (ya descrita previamente). Se confirmará la correcta colocación de la aguja mediante el retorno de material de contraste o mediante infiltración de contraste a través de la aguja con la visualización del sistema colector por fluoroscopia.

#### Tiempo de punción

Se valorará el tiempo necesario desde la punción cutánea a la colocación de la guía dentro del sistema colector. Se realizará una comparación entre urólogos con experiencia realizando este procedimiento y el residente de urología en formación para validar el modelo cadavérico.

#### Efectividad de punción

Se medirá el número de intentos de punción sobre el cadáver. El intento se contabiliza como la introducción de la aguja sobre la piel. Cada punción de piel será considerada como un intento.

#### Efectividad de canalización ureteral

Se medirá la frecuencia con la que es posible canalizar vía retrógrada el uréter y el tiempo necesario para llevar a cabo este procedimiento.

#### Evaluación del modelo cadavérico

Las punciones se llevarán a cabo por 4 residentes de urología de 4to y 5to año. Se llevará a cabo una comparación entre las punciones iniciales en el modelo, las cuales serán asesoradas por un experto en el área (>100 procedimientos) y posteriormente se realizarán punciones de prueba sin un asesor por los mismos participantes. La curva de aprendizaje será evaluada por medio del número de intentos por punción y el tiempo de radiación. Una vez hecho la evaluación inicial del modelo cadavérico, se llevan a cabo punciones adicionales para comparar la curva de aprendizaje del modelo en posición supina y en posición prona.

#### Análisis estadístico

Tomando en cuenta la varianza reportada en la literatura (18), considerando el tiempo promedio de radiación de  $12.4 \pm 10$  seg, se realizó el cálculo del tamaño de muestra para estudios de prevalencia con variable dependiente expresada en media con una confianza del 95% y una precisión (poder) de 99%, estimándose una muestra inicial de 35 punciones, misma que ajustada con base a la cantidad de

cadáveres disponibles en 1 año en el Departamento de Anatomía Humana, calculado en 7 cadáveres (14 riñones), dando como resultado una muestra mínima de 30 punciones totales.

Se realizará el análisis estadístico con el programa SPSS versión 20.0.

#### Estadística descriptiva

Se utilizarán medidas de tendencia central y dispersión. Las variables categóricas serán representadas en frecuencia y porcentajes. Mientras que las variables numéricas serán representadas mediante media y desviación estandar o mediana y rangos intercuartiles.

#### Estadística inferencial

Se realizarán pruebas de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y se obtendrán datos de tendencia central y dispersión. Las comparaciones entre las punciones iniciales y las punciones de prueba subsecuentes serán realizadas mediante pruebas t-student pareada o prueba wilcoxon, dependiendo del resultado de las pruebas de normalidad y por prueba de Mac Nemar.

La comparación de la técnica de punción en posición supina y posición prona será evaluada mediante ANOVA y Q de Cockran.

Un valor de  $p < 0.05$  será considerado como estadísticamente significativo. Se utilizará SPSS Statistics versión 22 (IBM, Armonk, NY, USA) para Windows 10.

#### Consideraciones éticas

El presente estudio no tiene ánimo de lucro y no está financiado, por lo que los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. El protocolo será sometido ante la evaluación y aprobación por el Comité de Ética en Investigación del Hospital Universitario "Dr. José Eleuterio González".

#### Consentimiento Informado

El presente estudio se encuentra exento de consentimiento informado.



## CAPÍTULO VI

### 8. Resultados

#### Evaluación del Modelo Cadavérico

Se utilizaron un total de 10 riñones de 6 cuerpos humanos. La canalización de los uréteres se obtuvo en 10/12 casos (83.3%). En un caso no fue posible la canalización debido a estrechez del uréter que impidió la realización de pielografía retrógrada. Por ende, 2 riñones de los 6 modelos cadavéricos no fueron puncionados (16.7%).

El tiempo medio de preparación del modelo cadavérico fue de  $31 \pm 8.4$  minutos. El total de punciones realizadas fue de 119, siendo 73 (61.4%) punciones iniciales y 46 (38.6%) de prueba con una media de  $12 \pm 9.9$  punciones por riñón y  $6.4 \pm 4.8$  por cáliz. El cáliz puncionado con mayor frecuencia fue el inferior (51.3%), seguido del cáliz medio (48.7%). El cáliz superior no fue utilizado para punción debido a la necesidad de una punción intercostal, la cual no fue posible debido a la reducción del espacio presente y rigidez del modelo. La tasa de éxito de punción en general fue del 50.4% (60/119), el tiempo medio de radiación fue de  $1.3 \pm 0.8$  minutos. (**Tabla 1**).

En el análisis comparativo se encontró que el éxito de las punciones iniciales fue de 41% (30/73) vs 65.2% (30/46) de las punciones de prueba ( $p < 0.01$ ). En los primeros se obtuvo una media de  $2.4 \pm 1.2$  intentos por punción vs  $2.0 \pm 0.85$  intentos en los últimos ( $p = 0.03$ ). El tiempo de fluoroscopia en las punciones iniciales fue de  $1.49 \pm 0.95$  y en las de prueba de  $1.07 \pm 0.52$  minutos ( $p < 0.01$ ), siendo significativamente mayor en las primeras. No hubo diferencias en la distribución de cálices puncionados ( $p = 0.49$ ) (**Tabla 2**).

#### Evaluación de curvas de aprendizaje en decúbito supino y prono

Se realizaron un total de 35 (53.8%) punciones en decúbito supino y 30 (46.2%) en decúbito prono. En relación a los intentos por punción, se reportó una media de  $2.57 \pm 1.12$  intentos en decúbito supino, comparado con  $1.6 \pm 0.77$  intentos en decúbito prono, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.001$ ). Además, el tiempo de fluoroscopia en decúbito supino fue de  $80.3 \pm 37.9$  segundos contra  $48.6 \pm 29.4$  segundos en decúbito prono, mostrando diferencia significativa ( $p < 0.001$ ). Las características de las punciones en supino y prono se describen en la **Tabla 3**.

Al evaluar la curva de aprendizaje de las punciones efectuadas por residentes, en posición supina se encontró una reducción estadísticamente significativa en los intentos de punción y tiempo de fluoroscopia. En el análisis post-hoc, se determinó que esta diferencia se presentó posterior a la 11va punción. En el análisis comparativo entre residentes y expertos, no se logró alcanzar la semejanza estadística en los intentos de punción y tiempo de fluoroscopia, encontrando incluso posterior a la 11va punción un valor de  $p < 0.05$ . Por otro lado, en posición prona, se encontró una reducción estadísticamente significativa en los intentos de punción y tiempo de fluoroscopia en las punciones efectuadas por residentes. En el análisis post-hoc, se encontró que esta diferencia se alcanzó a partir de la 6ta punción. En el análisis entre residentes y expertos, se reportó una similitud en los intentos de punción y tiempo de fluoroscopia a partir de la 6ta punción, siendo no significativa la diferencia ( $p > 0.05$ ) (Tabla 4).

## CAPÍTULO VII

### 9. DISCUSIÓN

Obtener un acceso renal percutáneo continúa siendo un reto para los urólogos, en especial los residentes. El acceso representa uno de los pasos más complejos de la NLPC, requiriendo una curva de aprendizaje amplia y por lo tanto, la alta necesidad de práctica para obtener un nivel de adiestramiento necesario para la seguridad del paciente. El uso de modelos de entrenamiento es una opción viable en la capacitación del personal en formación, aumento de confianza y transferencia de habilidades a casos reales de pacientes *in vivo*.(19-22)

Se estima que el 69.6% de los urólogos realiza procedimientos percutáneos sobre riñón. En Estados Unidos, solo el 11% de los urólogos que realizaban NLPC, realizaban el acceso percutáneo, siendo el radiólogo intervencionista el principal en llevar a cabo el acceso. (8)

Por mucho tiempo se ha utilizado un modelo de enseñanza gradual y paulatino para la adquisición de destrezas quirúrgicas, mediante la observación periódica y posterior práctica sobre el paciente. Sin embargo, debido al incremento de los problemas médico-legales, presiones económico-financieras y el avance constante de la tecnología, este método convencional de enseñanza ha sufrido cambios significativos.(9) Para ello, se han propuesto diversos simuladores de entrenamiento con el objetivo de desarrollar de una manera segura y efectiva las habilidades quirúrgicas necesarias para el escenario de la cirugía en paciente *in-vivo*. Se ha demostrado una reducción en las curvas de aprendizaje, reducción de tiempos quirúrgicos y de complicaciones. (19,23)

La curva de aprendizaje para la obtención de un acceso renal percutáneo no está bien establecido en la literatura. En el caso de la NLPC, se han propuesto algunas medidas de competencia, como la tasa libre de litos, tiempo de radiación, tasa de punciones exitosas y de complicaciones. (9) En el estudio dirigido por Allen *et al*, se utilizó como parámetro de competencia el tiempo de fluoroscopia durante el procedimiento. Determinaron que la curva de aprendizaje es alcanzado después de 60 casos y la excelencia posterior a los 115 procedimientos, evaluado mediante la reducción significativa del tiempo de radiación.(10) En otro estudio, se reportó que los residentes de urología obtuvieron la confianza para realizar este procedimiento después de  $21.2 \pm 4.5$  accesos, concluyendo que realizar >24 accesos

percutáneos durante la residencia podría mejorar la seguridad y los resultados de la cirugía una vez graduados. (11)

Actualmente, son pocos los modelos que se han desarrollado para el entrenamiento urológico. Existen dos tipos de simuladores: inanimados y de realidad virtual. Los modelos inanimados pueden ser biológicos y no biológicos. (13) Los modelos biológicos utilizan distintos riñones de animales para recrear la anatomía del sitio de punción. Son modelos de bajo costo. Suelen utilizarse riñones porcinos o bovinos envueltos en espuma, silicona, coraza de pollo o una cubierta de piel de espesor total. (24) Tienen la desventaja de estar ausentes los movimientos respiratorios. Estos modelos animales permiten un simulador semejante al cuerpo humano, siendo el modelo porcino el que más asemeja la anatomía del riñón humano. Sin embargo, aún presenta diferencias importantes respecto a la anatomía humana. (12) Los modelos no biológicos suelen ser prototipos de distintos materiales sintéticos diseñados habitualmente por impresión 3D. (24)

Los simuladores de realidad virtual permiten recrear un ambiente semejante al presentado en el paciente, mediante la proyección de imágenes generadas por computadora. Permite una experiencia libre de estrés, simula los movimientos respiratorios y se ha demostrado una reducción de la curva de aprendizaje. La experiencia en el campo de la urología es limitado. La mayoría de la literatura en relación a entrenamiento por realidad virtual esta dirigida a endoscopia gastrointestinal, cirugía laparoscópica y ureteroscopia. (14,15) Hasta el momento, son pocos los simuladores de realidad virtual para acceso renal percutáneo que han sido validados para la adquisición de destrezas básicas para este procedimiento. El PERC Mentor™ es un modelo de realidad virtual que simula la punción renal percutánea guiada por fluoroscopia. Demostró haber reducido de forma significativa el tiempo de fluoroscopia, reducir complicaciones y aumentar el porcentaje de punciones exitosas. (25) Mu Y *et al*, describieron un simulador de realidad aumentada para acceso renal percutáneo guiado por ultrasonido. Demostró haber reducido el tiempo del procedimiento y mejorado el porcentaje de punciones exitosas. (26) Sin embargo, estos simuladores tienen la desventaja de ser costosos y de limitada disponibilidad. Además, presenta importantes diferencias con respecto a la consistencia del tejido y la anatomía humana. (25,26)

A pesar de los exhaustivos esfuerzos, hasta el momento no se tiene evidencia sobre el uso de simulador y su correlación con la adquisición de destreza quirúrgica sobre el paciente *in-vivo*. (13,25,26)

Los modelos cadavéricos han sido otra opción atractiva para el entrenamiento del urólogo y otras especialidades quirúrgicas. A la fecha, se ha publicado solo un estudio que evaluó el uso de un modelo cadavérico para la punción percutánea de riñón guiada por ultrasonido. Los resultados obtenidos fueron muy prometedores, con altas tasas de satisfacción y gran semejanza al paciente *in-vivo*. (16) En otro estudio dirigido por Castle *et al*, evaluaron un modelo cadavérico para el entrenamiento de la punción, colocación de agujas de radiofrecuencia y ablación tumoral en riñón, presentando resultados prometedores. (17) A pesar de la gran similitud al cuerpo *in-vivo*, la necesidad de infraestructura especializada para la preparación y mantenimiento de los cadáveres es una limitante en estos modelos.(11,27)

A la fecha, nuestro estudio representa la primera comparación directa de la curva de aprendizaje entre supino y prono. Con nuestro modelo de entrenamiento encontramos que la curva de aprendizaje, evaluada a través de los intentos de punción y tiempo de fluoroscopia, fue significativamente menor en decúbito prono. Sin embargo, ambas posiciones lograron una reducción significativa en las variables estudiadas, lo que nos demuestra que el modelo es útil independientemente de la posición con la que se trabaje.

Nuestro estudio presenta algunas limitaciones, comenzando por ser un estudio experimental preclínico. No se evaluó la utilidad clínica del modelo y hasta el momento se desconoce el potencial beneficio que pueda proporcionar al momento de transferir las habilidades a un paciente en escenarios transoperatorios *in vivo*. Otra limitante es la exposición de los residentes a la radiación producida por la fluoroscopia. A pesar que la fluoroscopia continúa siendo la técnica de imagen más utilizada, el ultrasonido ha ganado campo en los últimos años, siendo considerado una opción atractiva para reducir la exposición a la radiación. Estudios comparando la eficacia entre abordaje por fluoroscopia versus ultrasonográfico pueden proveer resultados de gran importancia. La pandemia COVID-19 fue también una limitante debido a la disminución de disponibilidad de cuerpos, horarios de laboratorio y número de participantes.(28)

Se recomiendan estudios prospectivos que permitan validar la utilidad clínica del modelo de cuerpo humano para entrenamiento de acceso renal percutáneo para urólogos en formación.

## CAPÍTULO VIII

### 10. CONCLUSIONES

El modelo de entrenamiento propuesto es una herramienta útil y reproducible, con el potencial de desarrollar destrezas quirúrgicas para el acceso renal en procedimientos percutáneos para el urólogo en formación. El modelo de entrenamiento permite reducir la curva de aprendizaje, independientemente de la posición (supino y pronó). Sin embargo, la exposición a la radiación entre practicantes es una desventaja que debe tenerse en consideración.

### 11. CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

## CAPÍTULO IX

### 12. ANEXOS

#### 12.1. TABLAS

**Tabla 1.** Características generales de la población de estudio.

Variables	n (%) o media $\pm$ DS
<b>Características de los modelos</b>	
Modelos de cuerpo humano	6
Tiempo de preparación del modelo; minutos	31 $\pm$ 8.4
Riñones puncionados	10/12 <sup>1</sup> (83.3)
Ureteros derivados	10/12 <sup>2</sup> (83.3)
<b>Características del procedimiento</b>	
Participantes (Residentes de urología)	4
Total de punciones	119
Punciones por riñón	12 $\pm$ 9.92
Punciones por caliz	6.4 $\pm$ 4.8
Punciones por residente	29.7 $\pm$ 9.5
Punciones Iniciales*	73/119 (61.4)
Punciones Prueba	46/119 (38.6)
Punciones exitosas	60/119 (50.4)
Intentos por punción	2.25 $\pm$ 1.1
Tiempo de Fluoroscopia (Minutos)	1.3 $\pm$ 0.8
<b>Sitio de Punción</b>	
Caliz Medio	58/119 (48.7)
Caliz Inferior	61/119 (51.3)
Caliz Superior	0 (0)

<sup>1</sup>2 uréteres no se lograron canalizar, por ende no fue posible realizar pielografía retrógrada.

<sup>2</sup>2 uréteres requirieron desinserción de vejiga y canalización extravascular. \*Bajo asesoramiento por un experto (>100 procedimientos).

**Tabla 2.** Comparación de las punciones renales iniciales y de prueba sobre modelo cadavérico de 4 residentes de urología.

Variables	Punciones Iniciales (n=73)	Punciones Prueba (n=46)	Valor P
<b>Características de punciones</b>			
Punciones por residente; media $\pm$ DS	18.25 $\pm$ 6.5	11.5 $\pm$ 3.3	0.11 <sup>1</sup>
Punciones exitosas; n (%)	30 (41)	30 (65.2)	<0.01 <sup>3</sup>
Intentos por punción; media $\pm$ DS	2.4 $\pm$ 1.2	2.0 $\pm$ 0.85	0.03 <sup>2</sup>
Tiempo de Fluoroscopia (mins); media $\pm$ DS	1.49 $\pm$ 0.95	1.07 $\pm$ 0.52	<0.01 <sup>2</sup>
<b>Sitios de Punción</b>			
Caliz Medio; (%)	35 (47.9)	22 (47.9)	0.49 <sup>3</sup>
Caliz inferior; (%)	38 (52.1)	24 (52.1)	0.49 <sup>3</sup>
Caliz Superior; (%)	0 (0)	0 (0)	NA

<sup>1</sup>Prueba U de Mann-Whitney para variables continuas no-paramétricas, <sup>2</sup>prueba t Student para variables continuas con distribución normal y <sup>3</sup>prueba Chi cuadrada para variables categóricas.

**Tabla 3.** Comparación de las punciones percutáneas en decúbito supino y prono.

<b>Variabes</b>	<b>Posición Supino</b>	<b>Posición Prono</b>	<b>Valor P</b>
<b>Características de los Modelos Cadavéricos</b>			
Modelos cadavéricos; n (%)	6 (85.7)	4 (57.1)	0.999 <sup>1</sup>
Antigüedad de los cuerpos (meses); media ± DS	15.4 ± 2.75	18.3 ± 3.8	0.001 <sup>2</sup>
Tiempo de preparación del cadáver (min); media ± DS	29.7 ± 1.2	30 ± 0.9	0.265
Punciones renales totales	10 (90.9)	6 (54.5)	0.999 <sup>1</sup>
<b>Características de las Punciones</b>			
Accesos renales totales*; n (%)	35 (53.8)	30 (46.2)	-
Puncture attempts per renal access; media ± DS	2.57 ± 1.12	1.6 ± 0.77	<0.001 <sup>2</sup>
Punciones totales por riñón; media ± DS	9 ± 5.9	8 ± 5.09	0.471 <sup>2</sup>
Tiempo de fluoroscopia (segundos); media ± DS	80.31 ± 37.93	48.6 ± 29.48	<0.001 <sup>2</sup>
<b>Sitio de Acceso Renal</b>			
Caliz medio	17 (48.6)	15 (50)	0.909 <sup>3</sup>
Caliz inferior	18 (51.4)	15 (50)	0.909 <sup>3</sup>
Caliz superior	0 (0)	0 (0)	-

<sup>1</sup>Prueba de Fisher; <sup>2</sup>Prueba U de Mann-Whitney; <sup>3</sup>Prueba Chi-cuadrada; \*Solo punciones por residentes.

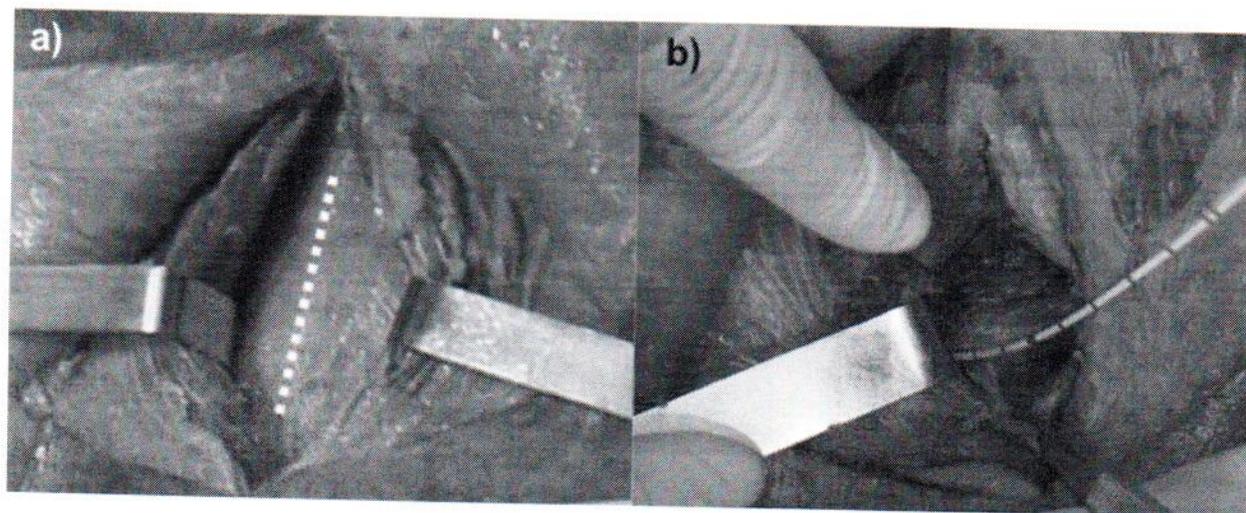
**Tabla 4.** Comparación de curva de aprendizaje y punciones entre residentes vs expertos en posición supine y prona.

Variables	Posición Supino			Valor P <sup>1</sup>	Posición Prono			Valor P <sup>1</sup>
	1st - 5th	6th - 10th	≥11th		1st - 5th	6th - 10th	≥11th	
<b>Número de accesos renales Intentos de punción; media ± DS</b>								
Residentes	3.7±1.16	2.7±0.67	1.7±0.45	<0.001 <sup>3</sup>	2.4±0.51	1.2±0.42	1.4±0.69	<0.001 <sup>4</sup>
Expertos	1.3±0.48	1.3±0.48	1.3±0.48		1.4±0.51	1.4±0.51	1.4±0.51	
Valor P <sup>2</sup>	<0.001	<0.001	0.033		<0.001	0.355	0.999	
<b>Tiempo de Fluoroscopia (Seg); media ± DS</b>								
Residentes	118±34.96	90±16.97	48.2±17.1	<0.001 <sup>3</sup>	82.8±25.7	35.4±4.47	27.6±11.6	<0.001 <sup>4</sup>
Expertos	29.4±5.9	29.4±5.9	29.4±5.9		30.6±7.1	30.6±7.1	30.6±7.1	
Valor P <sup>2</sup>	<0.001	<0.001	0.001		<0.001	0.089	0.497	

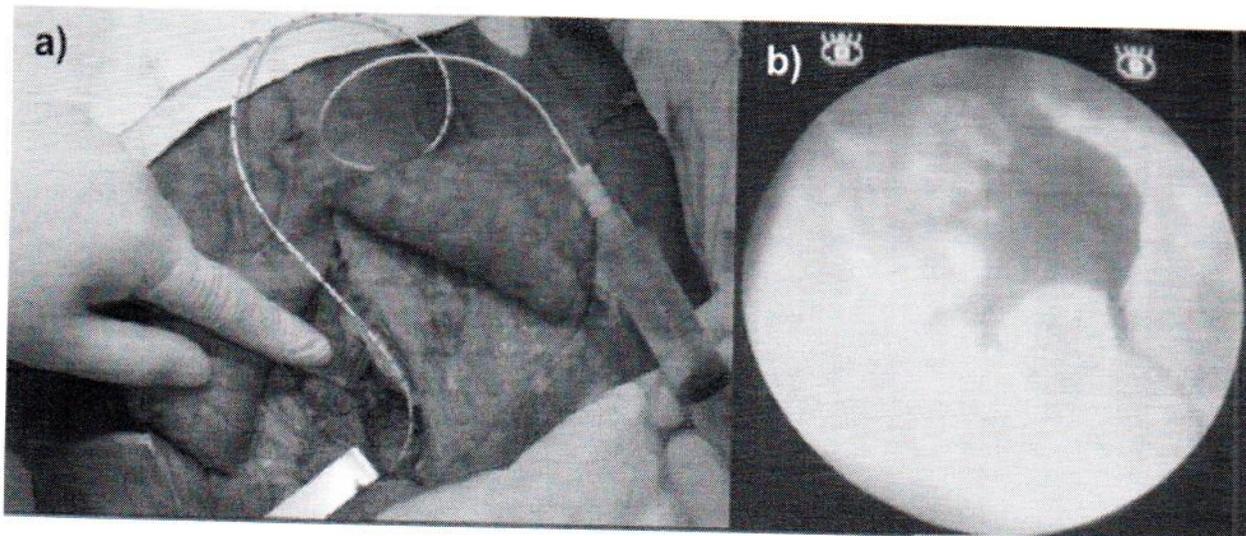
<sup>1</sup> ANOVA para análisis intragrupo (residentes) <sup>2</sup> Prueba T para análisis intergrupo (residentes vs expertos). <sup>3</sup> El análisis post-hoc informó una diferencia significativa de ≥11 punciones en comparación con las punciones iniciales, pero ninguna diferencia significativa entre las punciones 1 a 5 frente a las punciones 6 a 10. <sup>4</sup> El análisis post-hoc informó una diferencia significativa entre las punciones 6 y 10 en comparación con las punciones iniciales, pero no hubo diferencias significativas entre las punciones 6 y 10 frente a ≥ 11.

## 12.2. FIGURAS

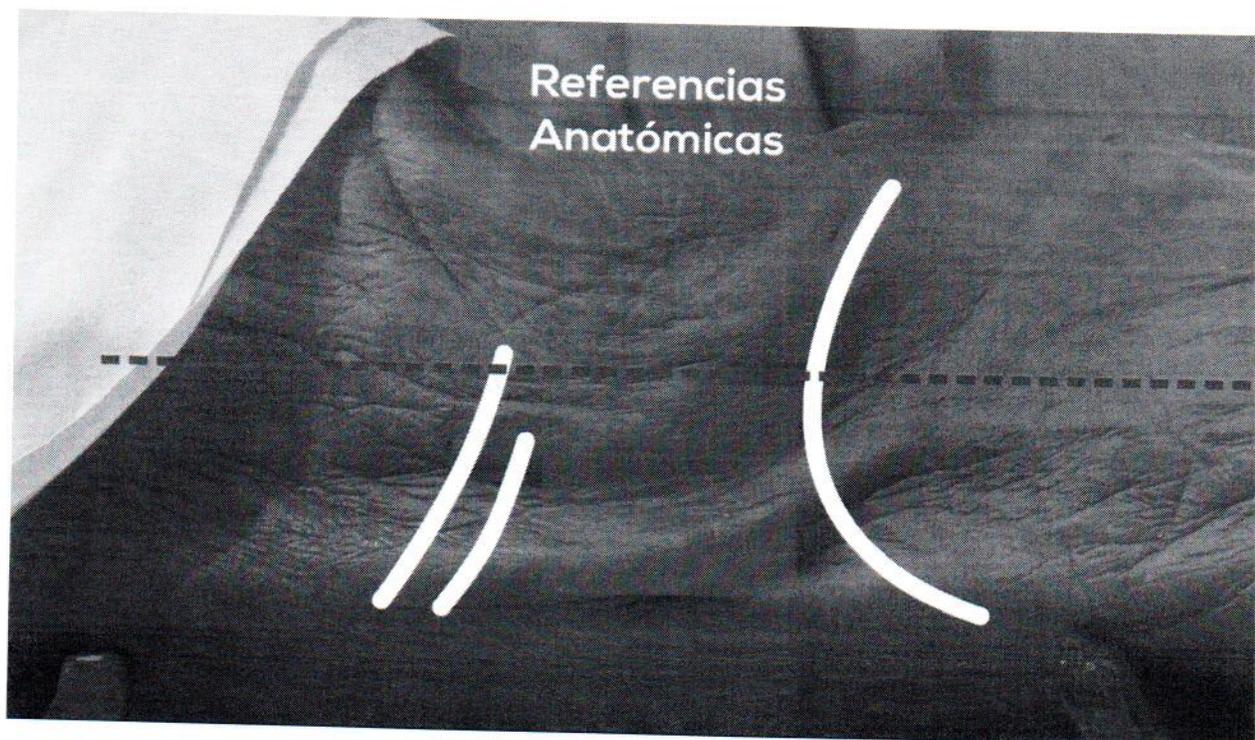
**Figura 1.** a) Apertura de vejiga mediante incisión en línea media vertical; b) canalización de uréter a través de guía hidrofílica y posteriormente introducción de catéter ureteral open-end.



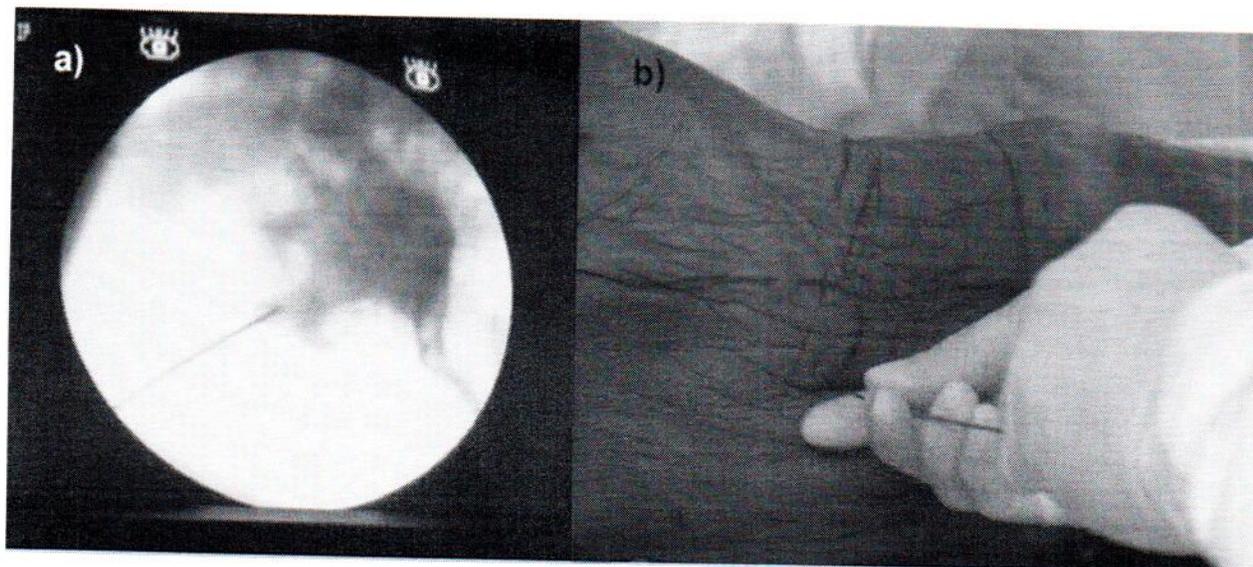
**Figura 2.** a) Se diluye contraste yodado hidrosoluble al 50% con solución salina y se coloca en una jeringa de 20cc. Se fija al extremo del catéter open-end y se infiltra lentamente. b) Se posiciona el arco en C sobre la silueta renal y se obtienen las imágenes del sistema colector por fluoroscopia.



**Figura 3.** Referencias anatómicas para la identificación de la zona de seguridad para punción (zona roja). Se identifican los extremos de la onceava y doceava costillas (líneas blandas paralelas). Se señala el borde superior de la cresta iliaca (línea blanca única). Se traza una línea a nivel de la línea axilar posterior (línea azul intermitente).



**Figura 4.** Punción renal mediante técnica de triangulación. a) Guiado por fluoroscopia, se selecciona la papila renal para el acceso. b) Se introduce la aguja sobre la zona de seguridad. Una vez alcanzada la papila renal, se confirma el acceso al sistema colector mediante el retorno de líquido a través de la aguja.



## CAPÍTULO X

### 13. REFERENCIAS

1. Wein, Alan J, Louis R. Kavoussi, Alan W. Partin, and Craig Peters. *Campbell-walsh Urology*. , 2016
2. Fernström I, Johansson B. Percutaneous pyelolithotomy: a new extraction technique. *Scandinavian journal of urology and nephrology*. 1976 Jan 1;10(3):257-9
3. Uría JV, Gerhold JV, López JL, Rodríguez SV, Navarro CA, Fabián MR, Bazalo JR, Elipe MS. Technique and complications of percutaneous nephroscopy: experience with 557 patients in the supine position. *The Journal of urology*. 1998;160(6):1975-8
4. European Association of Urology. *Urolithiasis guidelines*. 2020
5. SAMPAIO FJ, MANDARIM-DE-LACERDA CA. Anatomic classification of the kidney collecting system for endourologic procedures. *Journal of endourology*. 1988;2(3):247-51
6. Smith, Joseph A, Stuart S. Howards, Glenn M. Preminger, and Frank Hinman. *Hinman's Atlas of Urologic Surgery*. Philadelphia: Elsevier/Saunders, 2012
7. Paul Escobar. "Secretos en Endourologia y Urologia Laparoscopia". 2016
8. Watterson JD, Soon S, Jana K. Access related complications during percutaneous nephrolithotomy: urology versus radiology at a single academic institution. *J Urol* 2006;176:142–5
9. Tanriverdi O, Boylu U, Kendirci M, Kadihasanoglu M, Horasanli K, Miroglu C. The learning curve in the training of percutaneous nephrolithotomy. *Eur Urol* 2007;52:206–12
10. Allen D, O'Brien T, Tiptaft R, Glass J. Defining the learning curve for percutaneous nephrolithotomy. *J Endourol* 2005;19:279–82
11. Lee CL, Anderson JK, Monga M. Residency training in percutaneous renal access: does it affect urological practice? *J Urol* 2004;171:592–5
12. Stern J, Zeltser IS, Pearle MS. Percutaneous renal Access simulators. *J Endourol* 2007;21:270–3
13. Laguna MP, Hatzinger M, Rassweiler J. Simulators and endourological training. *Curr Opin Urol* 2002;12:209–15
14. Felsher JJ, Olesevich M, Farres H, et al. Validation of a flexible endoscopy simulator. *Am J Surg* 2005;189:497–500
15. Knoll T, Trojan L, Haecker A, Aiken P, Michel MS. Validation of computer-based training in ureteroscopy. *BJU Int* 2003;95:1276–9
16. Veys R, Verpoort P, Van Haute C, Wang ZT, Chi T, Tailly T. Thiel-embalmed cadavers as a novel training model for ultrasound-guided supine endoscopic combined intrarenal surgery. *BJU international*. 2020;125(4):579-85
17. Castle SM, Gorbatiy V, Salas N, Gorin MA, Landman J, Leveillee RJ. Development and evaluation of a novel cadaveric model for performance of image-guided percutaneous renal tumor ablation. *Journal of Surgical Education*. 2012;69(1):30-3
18. Manzo BO, Torres JE, Cabrera JD, Lozada E, Emiliani E, Sepulveda F, Morales C, Morales I, Sanchez HM. Simplified biplanar (0–90°) fluoroscopic puncture technique for percutaneous nephrolithotomy: the learning curve. *World Journal of Urology*. 2021;39(9):3657-63.

19. Aydin A, Shafi AM, Shamim Khan M et al. Current Status of Simulation and Training Models in Urological Surgery: A Systematic Review. *J Urol*. 2016;196(2):312-320.
20. Hammond L, Ketchum J, Schwartz BF. A new approach to urology training: a laboratory model for percutaneous nephrolithotomy. *J Urol*. 2004;172(5 Pt 1):1950-1952.
21. Olweny EO, Pearle MS. Update on resident training models for ureteroscopy. *Curr Urol Rep*. 2011;12(2):115-120.
22. Gonzalez-Navarro AR, Quiroga-Garza A, Acosta-Luna AS, et al. Comparison of suturing models: the effect on perception of basic surgical skills. *BMC Med Educ*. 2021;21(1):250. Published 2021 May 1.
23. Vijayakumar M, Balaji S, Singh A et al. A novel biological model for training in percutaneous renal access. *Arab J Urol*. 2019;17(4):292-297.
24. Noureldin YA, Andonian S. Simulation for Percutaneous Renal Access: Where Are We?. *J Endourol*. 2017;31(S1):S10-S19.
25. Noureldin YA, Fahmy N, Anidjar M et al. Is there a place for virtual reality simulators in assessment of competency in percutaneous renal access?. *World J Urol*. 2016;34(5):733-739.
26. Mu Y, Hocking D, Wang ZT et al. Augmented reality simulator for ultrasound-guided percutaneous renal access. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2020;15(5):749-757.
27. Hacker A, Wendt-Nordahl G, Honeck P et al. A biological model to teach percutaneous nephrolithotomy technique with ultrasound- and fluoroscopy-guided access. *J Endourol*. 2007;21(5):545-550.
28. Krebs C, Quiroga-Garza A, Pennefather, P et al.. Ethics behind technology-enhanced medical education and the effects of the COVID-19 pandemic. *Eur J Anat*. 2021;25(4), 515-522.