



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
FACULTAD DE MEDICINA

**“ESTANDARIZACIÓN EN MODELO PORCINO DE UNA TÉCNICA  
ENDOVASCULAR DE ARTERIALIZACIÓN VENOSA PARA ISQUEMIA CRÍTICA DE  
MIEMBROS INFERIORES”**

TESIS DE POSGRADO PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**ESPECIALISTA EN ANGIOLOGÍA Y CIRUGÍA VASCULAR**

PRES ENTA:

**DR. FAUSTO JULIÁN VIRGEN BARRÓN**

Asesor de Tesis: Dr. Ignacio Escotto Sánchez  
Profesor Titular del Curso: Juan Miguel Rodríguez Trejo

CIUDAD DE MEXICO

AGOSTO 2018



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.

## **INDICE**

<i>Introducción</i>	2
<i>Antecedentes</i>	5
<i>Planteamiento del problema</i>	9
<i>Justificación</i>	9
<i>Hipótesis</i>	10
<i>Objetivo general</i>	10
<i>Objetivos específicos</i>	10
<i>Métodos</i>	11
<i>Resultados</i>	14
<i>Discusión</i>	15
<i>Conclusiones</i>	17
<i>Bibliografía</i>	18

## **INTRODUCCIÓN**

La enfermedad arterial periférica es uno de los retos más grandes del cirujano vascular. Se desconoce su prevalencia mundial, pero se estima que de 8 a 12 millones de americanos la padecen (1-3). En México no existe un estudio adecuado de la prevalencia e incidencia de esta enfermedad.

Su presentación clínica tiene un espectro amplio, incluyendo de forma progresiva pacientes asintomáticos, pacientes con dolor de miembros inferiores con el esfuerzo, dolor en reposo y por último, pérdida de tejido.

Se ha denominado como “isquemia crítica (IC) de miembros inferiores” a la presencia de dolor en reposo y/o la pérdida tisular. La IC es un problema cada vez más frecuente en los individuos de mayor edad. La incidencia anual se calcula en 50-100 casos por 100,000. La tasa de mortalidad es de aproximadamente 20% a 6 meses del diagnóstico (4). A 5 años la mortalidad es de 40 - 70% (5), comparable a la de algunas malignidades agresivas. El objetivo de practicar una revascularización agresiva en estos pacientes es mantener su independencia en las últimas etapas de la vida.

Se estima que 5-10% de los pacientes con enfermedad arterial periférica mayores de 50 años desarrollarán IC en un periodo de 5 años (4).

El abordaje endovascular para revascularizar la extremidad con IC se ha vuelto más y más popular y en muchos centros es la primera línea de manejo—sobre el abordaje quirúrgico.

La terapia endovascular es apropiada para la revascularización multivaso y multinivel, y es bien tolerada por los pacientes con IC, quienes comúnmente padecen comorbilidades serias (6, 7).

El avance de la tecnología y técnica endovascular ha traído consigo una tasa elevada de éxito técnico; sin embargo, todavía hay casos plagados por el fracaso, debido a la

ausencia de vasos de salida, calcificación severa y una carga de placa importante que resultan en “recoil” elástico y reestenosis temprana después de la angioplastia. El destino de estos pacientes es frecuentemente la amputación. La amputación está asociada a una morbimortalidad importante, por lo que hay que evitarla siempre que sea posible. Sólo 40% de los pacientes con una amputación debajo de la rodilla conservan una capacidad de ambulación a 2 años, y aun menos salen de sus casas (8).

Un estudio prospectivo a 15 años demostró que hasta 14 – 20% de los pacientes con IC no son candidatos apropiados a intervención vascular debido a oclusiones extensas en los vasos de salida a nivel infrapoplíteo e inframaleolar. Aún cuando los pacientes reciben un procedimiento exitoso al inicio, la re-oclusión es un fenómeno esperado (9). La enfermedad avanzada que se acompaña de oclusión de las arterias del pie—usadas para un bypass distal o angioplastia—se denomina “pie desierto”, y representa una patología terminal que lleva a fracaso de los métodos de revascularización convencionales. Frecuentemente lleva a amputación mayor. Llamaremos a esta entidad “isquemia crítica sin opción” (ICSO).

En la última década, se han explorado nuevas opciones de tratamiento para pacientes con ICSO. Estas incluyen tratamiento con células madre, estimulación de la médula espinal y terapia con prostanoides. Un metaanálisis de estudios controlados por placebo no demostró ventaja de la terapia con células madre sobre los parámetros de amputación, supervivencia global y supervivencia libre de amputación en pacientes con ICSO (10).

Otro metaanálisis tampoco encontró beneficio de la terapia con prostanoides sobre otros tratamientos médicos (11). Una revisión de Cochrane concluyó que algunos podrían beneficiarse de la estimulación de médula espinal para prevenir la amputación; sin embargo, la evidencia fue de mala calidad (12).

¿Podemos mejorar la perfusión tisular de manera retrógrada a través del sistema venoso? Fue la pregunta que se hicieron fisiólogos y cirujanos desde los primeros años del siglo XX ante la ausencia de un tratamiento efectivo en estos pacientes.

La creación de una fístula arteriovenosa en una extremidad inferior, con inversión del flujo venoso hacia el tejido isquémico podría representar un tratamiento de “rescate” en los pacientes con ICSSO. A este concepto se le denominó “arterialización venosa”. Los factores anatómicos que facilitan este procedimiento son: la existencia de regiones anatómicas drenadas por venas específicas—venosomas—que corresponden con los angiosomas de las arterias correspondientes; y que dichas venas se encuentran en íntima cercanía con las arterias correspondientes.

Existen al menos tres mecanismos de acción que podrían explicar porqué la arterialización venosa mejora el cierre de úlceras isquémicas: neo vascularización activada por factores de crecimiento angiogénicos (13), inversión de la perfusión de arteriolas a través de la rica red de capilares del pie, resultando en oxigenación y nutrición optimizadas de los tejidos isquémicos (14-16), y aumento del flujo sanguíneo en los vasos colaterales (15, 17).

## **ANTECEDENTES**

Desde 1906, Alexis Carrel y C.C. Guthrie (18) publicaron un estudio bajo el título “The reversal of the circulation in a limb”. Demostraron en un modelo canino que la inversión de la circulación en la extremidad de un perro es posible, mediante una anastomosis arteriovenosa termino-terminal. Ya desde entonces se identificó que los obstáculos para crear esta inversión del flujo eran las válvulas venosas, las afluentes venosas—que podrían disminuir la presión intravascular y la velocidad de flujo—y la resistencia de los capilares.

La primera descripción de una anastomosis arteriovenosa con el objetivo de mejorar la perfusión distal en pacientes con IC fue en 1912 por Halstead y Vaughan (19, 20), incluso 40 años antes del primer bypass femoropoplíteo con vena exitoso.

Se han sugerido muchos mecanismos que expliquen el éxito que se puede lograr con la arterialización venosa, incluyendo maximización de la perfusión tisular a través del lecho capilar, la mejora del retorno venoso en el resto de los vasos, y estimulación de la angiogénesis (16, 17, 19, 21, 22).

Bernheim, durante su labor en el Johns Hopkins al inicio del siglo 20, dedicó todo un capítulo de su libro sobre patología vascular a “la anastomosis arteriovenosa” o la así llamada “inversión de la circulación...” Yao señaló en una revisión histórica en 2011 que “la técnica tenía la intención de desviar el flujo arterial al sistema venoso para incrementar el aporte de nutrientes a los tejidos. Este procedimiento es actualmente obsoleto” (23).

Muchas series se han publicado desde entonces, con la intención de evaluar la efectividad y/o seguridad de la arterialización venosa en pacientes con isquemia crítica sin posibilidad de reconstrucción arterial. Uno de los autores más activos es Lengua, quien ha dado seguimiento a una cohorte desde 1982 (24). Su última publicación fue en 2010 (25), que incluyó 59 pacientes. En 27 de estos, la arteria permeable más distal fue la femoral superficial y en 25 la poplíteo. Sin embargo, reportó también 3 casos con

iliaca externa y 3 con femoral común, lo que hace dudar de la verdadera existencia de un árbol arterial no reconstruible.

Una publicación relativamente reciente comparó la eficacia de la arterialización venosa quirúrgica con la del bypass distal convencional. El autor hipotetizó que la arterialización venosa es en concepto un bypass de flujo alto, comparado con el bypass pedal, y por lo tanto ofrece una mejor permeabilidad. En este estudio retrospectivo, a 19 pacientes se les practicó un bypass distal convencional y a 21 pacientes un a arterialización venosa quirúrgica a la safena mayor. La arterialización venosa se asoció con 71% de permeabilidad y 53% de salvamento de extremidad a 12 meses, lo cual fue comparable con el grupo del bypass distal (75% y 47%, respectivamente) (26). El flujo promedio perioperatorio fue de 38 mL/min en el grupo que recibió el bypass pedal y 73 mL/min en el grupo que recibió la arterialización venosa ( $P=0.03$ ).

Lu publicó en 2006 un metaanálisis que evaluó la efectividad de la arterialización venosa quirúrgica. El análisis incluyó 7 series. Reportó una tasa de salvamento de extremidad de 71% y una permeabilidad secundaria de 46%, ambas a 12 meses. La mayoría de los pacientes evitaron una amputación, eventos adversos serios y experimentaron un adecuado cierre de la herida y resolución del dolor en reposo. Este reporte concluyó que la arterialización venosa puede ser considerada antes de la amputación en pacientes con IC inoperable (27). Una limitante de este metaanálisis es el carácter observacional de los estudios incluidos. La discrepancia entre la tasa de salvamento de extremidad y la permeabilidad secundaria resulta bastante interesante. Probablemente es consecuencia del efecto específico de la arterialización venosa. Aunque el mecanismo preciso sigue sin identificarse, se postulan factores de crecimiento angiogénicos liberados en un medio isquémico, los cuales inducen neo vascularización y por ende, el desarrollo de colaterales. Esto puede explicar porqué, aunque el bypass fracase después de unos meses, puede evitarse la amputación en la mayoría de los casos.

Schreve (28) publicó en 2017 un nuevo metaanálisis sobre este procedimiento que estudió 15 artículos, incluyendo 768 pacientes. Similar al metaanálisis de Lu et al., se enfrentó a una calidad moderada-baja de los estudios incluidos. La tasa de salvamento de extremidad a 1 año fue 75%; la mortalidad intrahospitalaria y a 30 días fue de 0-10%; la supervivencia se reportó sólo en 10 estudios, en un rango de 54–100%, con un seguimiento de 5 a 60 meses. La permeabilidad fue reportada sólo por 6 estudios, con un rango de 59–71% a 12 meses. Como se podría esperar, la arteria donante fue generalmente la arteria permeable más distal, preferentemente la poplítea. En 9 estudios se realizó de forma sistemática una arterialización venosa profunda, y en 6, una arterialización venosa superficial (safena mayor). la mayoría de los autores realizaron ligadura de las afluentes hasta el nivel del pie.

Kum et al. (22) publicó en Octubre 2017 un estudio piloto pequeño innovador, sobre una técnica percutánea de arterialización venosa. Las ventajas teóricas de un procedimiento endovascular son su carácter poco invasivo—y por consecuencia, menor riesgo quirúrgico—, y la ausencia de una herida en una extremidad isquémica. Sólo incluyeron 7 pacientes, todos diabéticos, con intentos previos de angioplastia y considerados casos sin opción. La serie es pequeña, pero este abordaje percutáneo es obviamente más atractivo que un abordaje abierto. Además, el abordaje parece ser más reproducible por otros operadores. Parece ser también más sencillo que un abordaje transarterial tedioso para enfermedad calcificada de segmento largo.

La técnica incluye un sistema de 4 componentes: un catéter arterial con aguja similar a un dispositivo de reentrada, un catéter venoso, un stent de nitinol recubierto en un sistema de entrega 7 Fr, una computadora laptop con un sistema de alineación por ultrasonido que acopla una sonda de emisión de ultrasonido en el catéter arterial y una sonda de recepción de ultrasonido en el catéter venoso para facilitar la entrada de la aguja de la arteria a la vena correspondiente. Una vez se realiza la fístula arteriovenosa, esta es asegurada con un stent de nitinol de 3.5-5.0 mm, con un flujo dirigido distalmente hacia el pie, eliminando el flujo venoso retrógrado inmediato. El stent inicial se extiende con múltiples stents recubiertos de politetrafluoroetileno (PTFE)

de 5 mm para asegurar la destrucción valvular y permitir el flujo al pie a través de un neo-conducto de suficiente tamaño. Se utiliza un valvulotomo nuevo 4 Fr. que corta de forma anterógrada para lisar las válvulas hasta el tercio medio del pie. Se logró un flujo al arco venoso plantar en 5 de 7 casos. La desventaja de esta técnica es el costo del sistema de ultrasonido vascular. La media de la presión transcutánea de oxígeno (TcPO<sub>2</sub>) fue 61 mm Hg, comparada con una basal de 8 mm ( $p=0.046$ ). 4 de los 5 pacientes lograron niveles TcPO<sub>2</sub> mayores a 40 mm Hg al momento del cierre de la herida. Esto sugiere un verdadero incremento de la perfusión, aunque el mecanismo se desconoce.

Gandini et al. (29) publicó otra técnica para arterialización venosa plantar distal en pacientes con IC y pérdida tisular con oclusión severamente calcificada de la tibial posterior. Se practicó en pacientes con enfermedad renal crónica terminal en hemodiálisis, los cuales presentan una evolución usualmente mala. Por ello, aunque en este caso si se logró avanzar de forma subintimal a través de la arteria tibial posterior hasta los vasos plantares, se decidió realizar una fístula arteriovenosa para mejorar el pronóstico del paciente. Al llegar en plano subintimal hasta los vasos plantares, bajo proyección anteroposterior, se dirigió la guía hacia “fuera” de la arteria”, lejos de la calcificación.

Sin embargo, esta es una técnica “ciega” que no incluye flebografía y las venas no son opacificadas, por lo tanto la localización del lumen venoso solo puede inferirse con base en referencias anatómicas.

Probablemente no tendremos en el futuro un ensayo clínico aleatorizado sobre la arterialización venosa quirúrgica o endovascular por la implicación ética de asignar un tratamiento conservador a un paciente con isquemia crítica, con el mal pronóstico que esto conlleva. Hasta el momento no hay estudios rigurosos que comparen la arterialización quirúrgica con la endovascular. Creemos que de los procedimientos percutáneos, sólo la técnica propuesta por Kum et al. es estandarizada y reproducible, sin embargo, utiliza equipo costoso y de poca disponibilidad, al menos hasta este

momento y en nuestra región. Queremos desarrollar una técnica de arterialización venosa percutánea que utilice la menor cantidad de equipo especializado.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En pacientes con isquemia crítica de miembros inferiores y pérdida tisular, es esencial permeabilizar una arteria tibial con flujo directo al pie, ya sea a través del eje arteria tibial anterior – arteria pedia, o el eje arteria tibial posterior – plantar lateral y medial.

Existe un porcentaje significativo de pacientes con isquemia crítica de miembros inferiores sin arterias de salida en el pie, lo cual se denomina “isquemia crítica sin opción”, ya que no importa que tanto se pueda mejorar el flujo arterial hasta arriba del tobillo, si no hay un vaso adecuado en el pie, la evolución del paciente será mala.

A pesar de que se han propuesto técnicas quirúrgicas para realizar anastomosis arteriovenosas a diversos niveles en el miembro inferior, no existe más que una técnica endovascular estandarizada que involucra el uso de equipo costoso y no ampliamente disponible. Nos dimos a la tarea de diseñar una técnica endovascular no requiere el uso de dicho equipo.

## **JUSTIFICACIÓN**

Un estudio sobre la factibilidad técnica de un procedimiento nuevo y práctico para realizar arterialización venosa en pacientes con isquemia crítica sin opción permitirá refinar el procedimiento, extrapolarlo a su uso clínico y eventualmente ser la base de un estudio a mayor escala en humanos.

## **HIPÓTESIS**

Es técnicamente factible practicar una arterialización venosa por vía endovascular utilizando una combinación de un dispositivo de reentrada, ultrasonido extravascular y fluoroscopia.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar en un modelo porcino la probabilidad de éxito de una técnica nueva para realizar arterialización venosa utilizando un dispositivo de reentrada orientado por fluoroscopia.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Evaluar la factibilidad técnica y la frecuencia de éxito de un procedimiento nuevo de arterialización venosa por vía endovascular.
2. Identificar aspectos de la técnica que deban ser modificados para mejorar la probabilidad de éxito.
3. Estandarizar y describir detalladamente el procedimiento final.

## **METODOLOGÍA**

Se realizó un estudio experimental en un modelo porcino para evaluar una técnica nueva de arterialización venosa por vía endovascular. A cargo del servicio de Angiología y Cirugía Vascular y del servicio de Cirugía Experimental del Instituto de Seguridad Social al Servicio de los Trabajadores del Estado (ISSSTE).

### **Muestra:**

Consistió en un modelo porcino (muslos de cerdo, o bien animales vivos bajo anestesia general si era logísticamente posible).

Se determinó de forma arbitraria una n=10 (extremidades) para lograr una estandarización satisfactoria de la técnica.

### **Anestesia:**

Se utilizó propofol y barbitúricos por vía intravenosa, dosis calculada por peso.

### **Técnica:**

- Traqueostomía mediante incisión cervical en línea media y sonda traqueal 6 mm.
- Se utilizarán muslos de cerdo o bien animales vivos. Se identificarán la arteria y la vena femoral.
- Se realizará una punción anterógrada de la arteria femoral con aguja 18G y se avanzará una guía iniciadora. Se colocará un introductor 6 Fr x 5 cm. Se realizará una punción retrógrada de la vena femoral con aguja 18G, se avanzará una guía iniciadora y se colocará un introductor 5 Fr x 5 cm. Nota: si se trabaja en un muslo de cerdo, puede obviarse este paso y trabajar directamente sobre las terminaciones expuestas de la arteria y la vena para el avance de guías.
- Se avanzarán guías V18 a través de cada introductor.
- Se avanzará un dispositivo de reentrada Outback® Cordis de forma anterógrada por la arteria. Se avanzará de forma retrógrada por la vena un balón de 3-4 mm de diámetro (dependiendo del diámetro de la vena medido por US) x 20 mm de largo.
- Se realizará insuflación del balón venoso. De esta manera “fijaremos la vena” y facilitaremos el paso de la aguja del dispositivo Outback.

- El dispositivo Outback debe ser orientado mediante fluoroscopia. En un plano dado del fluoroscopio, debe rotarse el dispositivo hasta obtener la imagen de una "L". El eje corto de la "L" corresponde a la dirección que tomará la aguja.
- Por lo tanto, para observar en un plano fluoroscópico arteria y vena, deberá obtenerse una proyección en la que las guías de la arteria y la vena tengan la mayor separación una de la otra.
- En esta proyección, se rotará el sistema outback hasta observar la "L", con dirección del eje mejor de la L hacia la vena (hacia el balón insuflado).
- Se activará el dispositivo Outback, pasando la aguja hacia la vena, sin importar la perforación del balón insuflado.
- Se desinsuflará el balón y se retirará.
- Manteniendo la aguja dentro de la vena, se avanzará una guía V18 de la arteria a la vena. Estableciendo así la fístula arteriovenosa.
- Para asegurar la comunicación se colocará un stent recubierto de 3.5-5 mm de diámetro.
  - Se realizará angiografía para confirmar el éxito de la fístula.

## **VARIABLES**

Éxito técnico: paso rápido de medio de contraste a través de la arteria, stent y vena (Si o no).

Tiempo del procedimiento: desde la punción hasta la colocación del stent (minutos).

Obtención de la guía arterial a través del acceso venoso: si o no.

Posición de la vena en relación con la arteria: anterior, anterolateral, lateral, posterior.

Diámetro de la arteria: mm, diámetro máximo.

Diámetro de la vena: mm, diámetro máximo.

Compresibilidad de la vena: si o no.

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Tabulación en hoja de excel de todos los casos utilizando valores absolutos, porcentajes y medias. Debido al tamaño de la muestra y carácter del estudio no se previó la necesidad de pruebas estadísticas avanzadas.

## **ASPECTOS ÉTICOS**

1. Se respetara lo señalado en la Ley General de Salud para la investigación clínica.
2. Los datos se conservarán en confidencialidad y anonimato.
3. Respetar decisión tomada por el paciente.

## **BIOSEGURIDAD**

Se utilizarán las medidas de protección estándar, propias del laboratorio de cirugía experimental, para evitar la transmisión de enfermedades infectocontagiosas.

## RESULTADOS

Se realizó una punción arteriovenosa exitosa en 8 extremidades, determinada por la visualización de la guía arterial en la luz de la vena en un sitio distal. En los 8 casos en que se determinó una punción arteriovenosa exitosa se obtuvo una angiografía con paso rápido de contraste a través de la vena, stent y vena. Es decir, se obtuvo un éxito técnico de 80%. De los 8 procedimientos exitosos, la vena se encontraba en posición relativa con la arteria: anterior en 5 y anterolateral en 3. De los 2 procedimientos no exitosos, la vena se encontraba en posición relativa con la arteria: lateral en los 2. El diámetro medio de la vena fue 4.3 mm en los casos exitosos y 3.6 mm en los casos no exitosos. Se resumen los resultados en la tabla 1.

Tabla 1.

Extremidad	Guía en vena	Posición	Diámetro art	Diámetro ven	Tiempo	Éxito
1	Si	Anterior	2.1	3.5	12	Si
2	Si	Anterolateral	2.3	4.1	15	Si
3	Si	Anterior	2.0	3.9	10	Si
4	Si	Anterior	1.9	4.0	11	Si
5	Si	Anterolateral	2.4	4.0	14	Si
6	No	Lateral	2.5	4.2	-	No
7	Si	Anterior	2.3	4.0	13	Si
8	Si	Anterolateral	2.3	3.8	11	Si
9	Si	Anterior	2.2	3.9	13	Si
10	No	Lateral	2.4	4.0	-	No

## DISCUSIÓN

La primera descripción de una anastomosis arteriovenosa con el objetivo de mejorar la perfusión distal en pacientes con IC fue en 1912 por Halstead y Vaughan (19, 20), incluso 40 años antes del primer bypass femoropoplíteo con vena exitoso.

Se han sugerido muchos mecanismos que expliquen el éxito que se puede lograr con la arterialización venosa, incluyendo maximización de la perfusión tisular a través del lecho capilar, la mejora del retorno venoso en el resto de los vasos, y estimulación de la angiogénesis (16, 17, 19, 21, 22).

Bernheim, durante su labor en el Johns Hopkins al inicio del siglo 20, dedicó todo un capítulo de su libro sobre patología vascular a "la anastomosis arteriovenosa" o la así llamada "inversión de la circulación..." Yao señaló en una revisión histórica en 2011 que "la técnica tenía la intención de desviar el flujo arterial al sistema venoso para incrementar el aporte de nutrientes a los tejidos. Este procedimiento es actualmente obsoleto" (23).

El paciente con isquemia crítica de miembros inferiores representa la etapa final del espectro de la enfermedad arterial periférica. La mortalidad a 5 años es comparable incluso con algunos cánceres particularmente malignos. El paciente con isquemia crítica y un patrón de enfermedad arterial complejo, con ausencia de lechos distales tiene un gran riesgo de amputación, ya que el intento de revascularización convencional usualmente fracasa. Aunque se conoce que la mortalidad de esta población es muy frecuentemente cardiovascular, también se reconoce que la amputación aumenta la tasa de mortalidad, respecto a los que si se logran revascularizar, conservando la extremidad. Además, la calidad de vida e independencia se ven francamente afectados. Desde un punto de vista, el tratamiento de estos pacientes es paliativo. Es necesario evitar la amputación.

La isquemia crítica irrevascularizable, o bien llamada isquemia crítica sin opción (ICSO), ha sido enfrentada con tratamientos de muy poca efectividad, como la

estimulación medular, prostaglandinas, células multipotenciales, etc. Desde los primeros años del siglo XX se propuso a la arterialización venosa como la última frontera del tratamiento de la enfermedad arterial periférica, lo que separa al paciente de la amputación y un pronóstico sombrío. Se han publicado numerosas series de casos de arterialización venosa quirúrgica, con resultados alentadores en la mayoría. Los mecanismos por los que este procedimiento actúa ya han sido mencionados e incluyen de forma especial la inducción de neovascularización. Esta última suena bastante factible ya que se han encontrado varios casos en que el conducto arteriovenoso se oblitera y la extremidad permanece viable y relativamente funcional, suponiéndose entonces que se ha logrado formar una colateralidad suficiente.

La arterialización quirúrgica implica la creación de una incisión distal en una extremidad de por sí isquémica. Varios grupos están experimentando con la arterialización percutánea. Una técnica fascinante publicada por Kum utiliza un sistema de ultrasonido intravascular para lograr dirigir una aguja de la arteria a la vena. Sin embargo, utiliza un dispositivo que acarrea un costo significativo, y que tiene una distribución mundial limitada. Las demás técnicas publicadas carecen de una descripción precisa y son difíciles de reproducir. La intención de este estudio fue probar y estandarizar una técnica concebida por el grupo de cirugía vascular y endovascular del Centro Médico Nacional 20 de noviembre; además, determinar los factores predictores de éxito y fracaso de esta técnica. Ya que es un procedimiento experimental, se decidió realizar esto en un modelo porcino. La técnica fue exitosa en 8 de 10 extremidades de cerdo. La visualización de la guía dentro de la vena en un sitio distal al de la arterialización predijo el éxito del procedimiento. La localización de la vena en posición anterior o anterolateral facilitó el procedimiento y predijo también el éxito técnico. La presencia de una vena en posición dificulta significativamente la punción simultánea de arteria y vena y predijo el fracaso del procedimiento.

## **CONCLUSIONES**

Concluimos, por lo tanto, que esta técnica es efectiva y debe ser experimentada en un estudio con seres humanos, diagnosticados con isquemia crítica sin opción, antes de determinar la necesidad de una amputación, para confirmar su utilidad, describir su perfil de seguridad, evaluar su durabilidad e impacto sobre la tasa de salvamento de extremidad y supervivencia. Efectivamente, deben excluirse los pacientes que presenten una vena en posición lateral a la arteria.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Criqui MH, Fronek A, Barrett-Connor E, Klauber MR, Gabriel S, Goodman D. The prevalence of peripheral arterial disease in a defined population. *Circulation*. 1985;71(3):510-5.
2. Hirsch AT, Criqui MH, Treat-Jacobson D, Regensteiner JG, Creager MA, Olin JW, et al. Peripheral arterial disease detection, awareness, and treatment in primary care. *JAMA*. 2001;286(11):1317-24.
3. Hirsch AT, Hartman L, Town RJ, Virnig BA. National health care costs of peripheral arterial disease in the Medicare population. *Vasc Med*. 2008;13(3):209-15.
4. Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, Nehler MR, Harris KA, Fowkes FG, et al. Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). *J Vasc Surg*. 2007;45 Suppl S:S5-67.
5. Dormandy J, Heeck L, Vig S, editors. The fate of patients with critical leg ischemia. *Seminars in vascular surgery*; 1999.
6. Agarwal S, Sud K, Shishehbor MH. Nationwide trends of hospital admission and outcomes among critical limb ischemia patients: from 2003–2011. *Journal of the American College of Cardiology*. 2016;67(16):1901-13.
7. Katib N, Thomas SD, Lennox AF, Yang J-L, Varcoe RL. An endovascular-first approach to the treatment of critical limb ischemia results in superior limb salvage rates. *Journal of Endovascular Therapy*. 2015;22(4):473-81.
8. Dormandy J, Heeck L, Vig S, editors. Major amputations: clinical patterns and predictors. *Seminars in vascular surgery*; 1999.
9. Adam DJ, Beard JD, Cleveland T, Bell J, Bradbury AW, Forbes JF, et al. Bypass versus angioplasty in severe ischaemia of the leg (BASIL): multicentre, randomised controlled trial. *Lancet*. 2005;366(9501):1925-34.
10. Weem SP, Teraa M, de Borst G, Verhaar M, Moll F. Bone marrow derived cell therapy in critical limb ischemia: a meta-analysis of randomized placebo controlled trials. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 2015;50(6):775-83.

11. Abu Dabrh AM, Steffen MW, Asi N, Undavalli C, Wang Z, Elamin MB, et al. Nonrevascularization-based treatments in patients with severe or critical limb ischemia. *J Vasc Surg.* 2015;62(5):1330-9 e13.
12. Ubbink DT, Vermeulen H. Spinal cord stimulation for non-reconstructable chronic critical leg ischaemia. 2005.
13. Baffour R, Danylewick R, Burdon T, Sniderman A, Common A, Graham A, et al. An angiographic study of ischemia as a determinant of neovascularization in arteriovenous reversal. *Surgery, gynecology & obstetrics.* 1988;166(1):28-32.
14. Matolo NM, Cohen SE, Wolfman Jr EF. Use of an arteriovenous fistula for treatment of the severely ischemic extremity: experimental evaluation. *Annals of surgery.* 1976;184(5):622.
15. Ozek C, Zhang F, Lineaweaver W, Chin B, Newlin L, Eiman T, et al. Arterialization of the venous system in a rat lower limb model. *British journal of plastic surgery.* 1997;50(6):402-7.
16. Jacobs MJ, Reul GJ, Gregoric ID, Ubbink DT, Tordoir JH, Kitslaar PJ, et al. Creation of a distal arteriovenous fistula improves microcirculatory hemodynamics of prosthetic graft bypass in secondary limb salvage procedures. *J Vasc Surg.* 1993;18(1):1-8; discussion -9.
17. Cuttino JT, Jr., Bartrum RJ, Jr., Hollenberg NK, Abrams HL. Collateral vessel formation: isolation of a transferable factor promoting a vascular response. *Basic Res Cardiol.* 1975;70(5):568-73.
18. Carrel A, Guthrie CC. III. The Reversal of the Circulation in a Limb. *Ann Surg.* 1906;43(2):203-15.
19. Halstead AE, Vaughan R. Arteriovenous anastomosis in the treatment of gangrene of the extremities. *Trans Am Surg Ass.* 1911;29:265-315.
20. Kunlin J. Le traitement de l'arterite obliterante par la greffe veineuse. *Arch Mal Coeur.* 1949;42:371-2.
21. Kumar S, West D, Shahabuddin S, Arnold F, Haboubi N, Reid H, et al. Angiogenesis factor from human myocardial infarcts. *Lancet.* 1983;2(8346):364-8.
22. Kum S, Tan YK, Schreve MA, Ferraresi R, Varcoe RL, Schmidt A, et al. Midterm Outcomes From a Pilot Study of Percutaneous Deep Vein Arterialization for the Treatment of No-Option Critical Limb Ischemia. *J Endovasc Ther.* 2017;24(5):619-26.
23. Bernheim BM. *Surgery of the vascular system*: JB Lippincott; 1913.

24. Lengua F, Buffet J, Schieber C, Kunlin J. Long term results of six arteriovenous anastomoses in patients with early necrosis of the foot due to obliterative arterial disease. *Chirurgie; memoires de l'Academie de chirurgie*. 1982;108(2):121.
25. Almora FL, Benavides ALM, Delgado JV, Ruiz CA. Countercurrent arterialization of foot veins as a treatment for critical ischemia. *Cirujano General*. 2009;31(4):219-24.
26. Schreve MA, Minnee RC, Bosma J, Leijdekkers VJ, Idu MM, Vahl AC. Comparative study of venous arterialization and pedal bypass in a patient cohort with critical limb ischemia. *Ann Vasc Surg*. 2014;28(5):1123-7.
27. Lu XW, Idu MM, Ubbink DT, Legemate DA. Meta-analysis of the clinical effectiveness of venous arterialization for salvage of critically ischaemic limbs. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2006;31(5):493-9.
28. Schreve MA, Vos CG, Vahl AC, de Vries JP, Kum S, de Borst GJ, et al. Venous Arterialisation for Salvage of Critically Ischaemic Limbs: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2017;53(3):387-402.
29. Gandini R, Merolla S, Scaggiante J, Meloni M, Giurato L, Uccioli L, et al. Endovascular Distal Plantar Vein Arterialization in Dialysis Patients With No-Option Critical Limb Ischemia and Posterior Tibial Artery Occlusion: A Technique for Limb Salvage in a Challenging Patient Subset. *J Endovasc Ther*. 2018;25(1):127-32.