

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ARTERIALIZACIÓN VENOSA EN PACIENTES CON ISQUEMIA CRÍTICA:
MANEJO QUIRÚRGICO, ENDOVASCULAR E HÍBRIDO

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de
Posgrado en Vascular Periférico para optar por el grado y título de Especialista en
Vascular Periférico

DRA. SOFÍA HERRERA SALAS

Carné A93094

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2020

DEDICATORIA

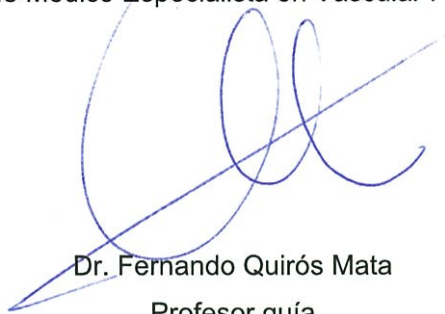
Mi trabajo final de graduación se lo dedico a mi esposo, quien desde el inicio de mi residencia ha sido de apoyo indispensable y me ha acompañado hasta en inclusive los días más difíciles. También le agradezco a mi familia, que aunque no veo todos los días, no hay momento en que no estén pendientes y no haya sentido su cálido apoyo.

AGRADECIMIENTOS

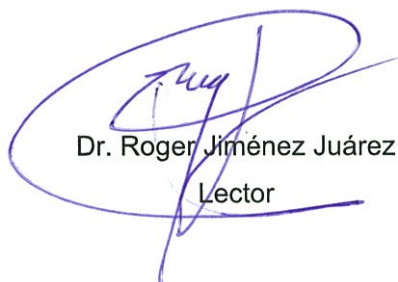
A todo el personal del Servicio de Vascular Periférico del Hospital San Juan de Dios, por ser los principales partícipes de mi formación académica, les estoy profundamente agradecida. Además, a todo su personal externo al servicio que siempre me ha hecho sentir como en un segundo hogar.

Por el tiempo en el que tuve la oportunidad académica y laboral, gracias a los servicios de Vascular Periférico del Hospital México y el Hospital Calderón Guardia por recibirme con los brazos abiertos.

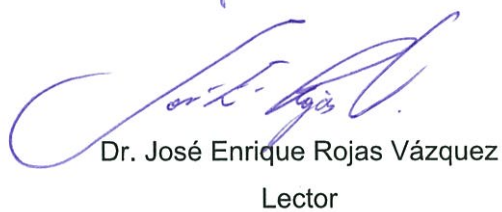
“Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Posgrado en Cirugía Vascolar Periférico de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado de Médico Especialista en Vascolar Periférico”



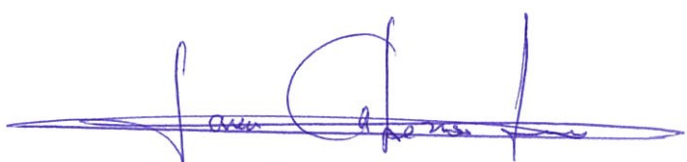
Dr. Fernando Quirós Mata
Profesor guía



Dr. Roger Jiménez Juárez
Lector



Dr. José Enrique Rojas Vázquez
Lector



Dr. Javier Cabezas Loría
Coordinador Programa de Posgrado en Cirugía Vascolar Periférico



Dra. Sofía Herrera Salas
Candidata

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	2
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
DISCUSIÓN	5
RESEÑA HISTÓRICA	5
ANATOMÍA VENOSA DEL PIE.....	6
ANATOMÍA ARTERIAL DEL PIE	9
FISIOLOGÍA	11
ELECCIÓN DE PACIENTES	12
ABORDAJE QUIRÚRGICO	14
<i>Técnica Quirúrgica Abierta</i>	16
Arterialización Venosa Quirúrgica Superficial	16
Arterialización Venosa Quirúrgica Profunda	17
<i>Técnica Endovascular</i>	18
<i>Técnica Híbrida</i>	23
MANEJO POST QUIRÚRGICO	24
<i>Manejo local de la lesión</i>	25
<i>Complicaciones</i>	26
FLUJOGRAMA DE MANEJO	27
CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS	30

RESUMEN

Con el aumento de enfermedades crónicas como diabetes e insuficiencia renal crónica, se incrementa de manera proporcional la incidencia de isquemia crítica y dentro de esta el subgrupo de pacientes sin opciones de revascularización. Una opción terapéutica no convencional corresponde a la arterialización venosa, antes de recurrir a una amputación mayor con los riesgos que esta conlleva.

La definición de arterialización venosa, es el uso de un lecho venoso libre de enfermedad como conducto alternativo para la perfusión de los tejidos periféricos con sangre arterial. En el siguiente trabajo se aborda desde el porqué es justificado realizar este procedimiento, hasta detalles anatómicos, fisiológicos y diversas técnicas quirúrgicas para poder llevarlo a cabo.

LISTA DE ILUSTRACIONES

FIGURA 1. VENAS SUPERFICIALES DEL DORSO DEL PIE.	7
FIGURA 2. VENAS PROFUNDAS PLANTARES.	8
FIGURA 3. VISIÓN MEDIAL DE LA IRRIGACIÓN DE LOS 2 SISTEMAS.	8
FIGURA 4. ARTERIAS DEL DORSO DEL PIE.	10
FIGURA 5. ARTERIAS DE LA PLANTA DEL PIE.	11
FIGURA 6. ILUSTRACIÓN DE ANGIOSOMAS. A LA IZQUIERDA VISTA DORSAL Y A LA DERECHA VISTA PLANTAR. 1. CALCÁNEO MEDIAL; 2. PLANTAR MEDIAL; 3. PLANTAR LATERAL; 4. PEDIO; 5. CALCÁNEO LATERAL.	15
FIGURA 7. EJEMPLO DE ARTERIALIZACIÓN VENOSA PROFUNDA. PROCEDIMIENTO REALIZADO CON BYPASS DESDE SITIO PROXIMAL DE INFLUJO ARTERIAL HASTA OBJETIVO VENOSO DISTAL, SIENDO EL CONDUCTO VENA SAFENA INVERTIDA O SINTÉTICO.	18
FIGURA 8. TÉCNICA DE ARTERIALIZACIÓN VENOSA CON SISTEMA LIMFLOW. A. CATÉTERES SE ALINEAN CON SEÑAL DE ULTRASONIDO. B. CRUCE E INSERCIÓN DE LA GUÍA. C. DESPLIGUE DEL STENT RECUBIERTO.	20
FIGURA 9. VAST 1 – VENA ANTERIOR A LA ARTERIA. (A) SE INSERTA LA AGUJA, PASANDO A TRAVÉS DE LAS 2 PAREDES DE LA VENA Y EL LOOP DEL SNARE. (B) LA AGUJA LLEGA A LA ARTERIA Y PUNZA EL BALÓN, SE AVANZA UNA GUÍA 0,018 DENTRO DEL BALÓN. (C) SE RETIRA EL BALÓN, MANTENIENDO LA GUÍA DENTRO PARA PODER EXTERNALIZARLO POR EL INTRODUTOR FEMORAL. (D) SE AVANZA UN CATÉTER DE SOPORTE VÍA ANTERÓGRADA. (E) UNA SEGUNDA GUÍA 0,014 SE AVANZA HASTA EL LUMEN VENOSO. (F) ANGIOPLASTÍA DE LA COMUNICACIÓN ARTERIOVENOSA.	22
FIGURA 10. VAST 2 – VENA POSTERIOR A LA ARTERIA. (A) LA AGUJA SE INSERTA POSICIONADA HACIA EL BALÓN EN LA ARTERIA. (B) LA AGUJA SE AVANZA, CRUZANDO EL BALÓN Y LA VENA, HASTA LLEGAR HASTA EL LOOP DEL SNARE. (C) SE RETIRA LA AGUJA, SE CIERRA EL LOOP DEL SNARE Y SE RETIRA POR EL INTRODUTOR VENOSO. (D) UN CATÉTER DE SOPORTE SE AVANZA A TRAVÉS DE LA GUÍA VENOSA A LA ARTERIA. (E) UNA SEGUNDA GUÍA 0,014 SE AVANZA HASTA ESTAR POSICIONADA EN EL LUMEN VENOSO. (F) ANGIOPLASTÍA DE LA COMUNICACIÓN ARTERIOVENOSA.	23

LISTA DE ABREVIATURAS

- BAD por sus siglas en inglés Big Artery Disease
- SAD por sus siglas en inglés Small Artery Disease
- VAST por sus siglas en inglés Venous Arterialization Simplified Technique
- VPS: Velocidad Pico Sistólica
- TVP: Trombosis Venosa Profunda
- AAS: Ácido Acetil Salicílico
- US: Ultrasonido
- FE: Fracción de Eyección
- FAV: Fístula Arteriovenosa

Introducción

La arterialización venosa fue inicialmente descrita en por Francois-Frank en 1881 al realizar anastomosis arteriovenosas femorales en perros y posteriormente en humanos en 1894; con alta tasa de complicaciones y pérdida de extremidad.¹

No fue una técnica popular durante un largo periodo de tiempo, sin embargo, debido a una población que envejece y la creciente incidencia de diabetes, ha contribuido al aumento de isquemia crítica de las extremidades inferiores lo que ha conllevado a un alza en su uso. Especialmente, en pacientes diabéticos y con enfermedad renal crónica en estadios avanzados, con vasos severamente calcificados y estenosis significativas que se extienden por debajo del tobillo, ya que la posibilidad de revascularización arterial quirúrgica y endovascular es limitada.²

En cuanto a la técnica quirúrgica, se puede abordar desde dos diferentes enfoques, según sea la elección de sistema venoso superficial o el profundo; y cada uno cuenta con sus diferentes técnicas de realización.

Justificación

La isquemia crítica tiene un alto impacto a nivel de salud, económico e individual para los pacientes, como a su vez costos elevados para el sistema de salud. Para el médico tratante suele representar un procedimiento retador; por lo que es imperativo para el cirujano vascular moderno buscar opciones alternativas de revascularización en este subgrupo de pacientes, como la que se detalla en este documento.

¹ Ho, V; *et al.* (2019) Open, percutaneous, and hybrid deep venous arterialization technique for no-option foot salvage

² van den Heuvel, D; *et al.* (2018) Venous Arterialization for CLI: When, Why, and How?

De manera aproximada hay una incidencia anual de 500 a 1000 nuevos casos por millón de habitantes de isquemia crítica, siendo los principales factores de riesgo la diabetes y enfermedad renal crónica³. Estudios indican que 1 año después del diagnóstico para paciente no candidato a revascularización, sólo 50% están vivos y sin amputación mayor, 25% con amputación mayor y 25% habrán fallecido⁴. Pacientes con isquemia crítica que no son candidatos a una intervención vascular y se les brinda tratamiento conservador, tienen un riesgo de amputación de 20% y de cicatrización espontánea de 10-20%⁵. La amputación mayor esta ligada a una alta mortalidad y morbilidad, después de 2 años sólo 40% de los pacientes rehabilitados van a estar utilizando prótesis y aún menos van a ser independientes fuera del hogar. Debido a todo este mal escenario, hay una alta justificación para ejecutar todos los intentos posibles para salvar el miembro⁶.

Uno de los métodos alternativos de revascularización es la arterialización venosa, como método de rescate para no acudir a una amputación mayor, en pacientes donde no fue posible una revascularización arterial, el cuál se describe en el presente documento.

³ Conte, M; *et al.* (2019) Global Vascular Guideline on the Management of Chronic Limb Threatening Ischemia

⁴ Norgren, L; *et al.* (2007) Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II)

⁵ Lichtenberg, M; *et al.* (2018) Surgical and endovascular venous arterialization for treatment of critical limb ischaemia

⁶ Engelke, C; *et al.* (2001) Distal Venous Arterialization for Lower Limb Salvage: Angiographic Appearances and Interventional Procedures

Objetivo general

Determinar dentro de los pacientes con isquemia crítica, cuál es el candidato ideal para la realización de una arterialización venosa para el salvataje de la extremidad.

Objetivos Específicos

1. Determinar cuál es la técnica quirúrgica ideal de arterialización venosa en el contexto general de cada paciente sin opciones de revascularización arterial.
2. Determinar cual es el vaso meta que se desea arterializar en un paciente sin opciones de revascularización arterial.
3. Exponer las diferentes opciones de manejo quirúrgico disponibles para el paciente al que se le desea realizar una arterialización venosa.
4. Exponer las posibles complicaciones de acuerdo al manejo quirúrgico y post quirúrgico de la arterialización venosa.

Discusión

Reseña Histórica

En 1881 Francois-Frank realizó inicialmente arterializaciones venosas en perros y posteriormente en humanos en 1894, con malas tasas de cicatrización y complicaciones como falla cardíaca y edema severo en extremidades¹. Continuaron Carrel y Guthrie en 1906, realizando experimentos caninos para explorar la posibilidad de una anastomosis arteriovenosa en la ingle⁵.

El concepto de utilizar un lecho venoso sano como conducto alternativo para la perfusión de tejidos periféricos con sangre arterial, fue propuesto por Halsted y Vaughan en 1912. Sin embargo, la expectativa de que las válvulas distales fueran destruidas por la presión arterial fue probada incorrecta. En 1951, Szilagyi experimentó que la presión arterial no destruía las válvulas a pesar de que estas estuvieran incompetentes⁵.

Fue hasta 1977 que Sheil descubrió la necesidad de la destrucción de las válvulas distales para la adecuada perfusión del pie. En 1984, Lengua reporta la realización de una anastomosis más distal en el sistema profundo, con mejores resultados⁵.

Especialmente durante la última década, se han propuesto diferentes opciones para pacientes con isquemia crítica sin opciones de tratamiento ya sea quirúrgico o endovascular, estas incluyen terapia con células madre, estimulación de la médula espinal y terapia con prostanoides. La única de estas terapias que sí ha demostrado cierto beneficio de muy bajo grado e impreciso es la estimulación de médula espinal⁷. Debido a esta evidencia limitada, la mayoría de casos con isquemia crítica no revascularizable tenía el único destino de terminar requiriendo una amputación mayor. Por esta razón a pesar de no

⁷ Schreve, M; *et al.* (2017) Venous Arterialisation for Salvage of Critically Ischaemic Limbs: A Systematic Review and Meta-Analysis

ser una técnica novedosa, en los últimos años vuelve a estar en boga la arterialización venosa para el salvataje de la extremidad.

Anatomía venosa del pie

El drenaje venoso del pie sigue un curso superficial o profundo, las venas superficiales se localizan en el tejido subcutáneo, por arriba de la fascia y las profundas acompañan a las arterias por debajo de la fascia y los músculos. Las válvulas son numerosas en el sistema profundo pero también están presentes en el superficial⁶.

Las venas digitales plantares forman un plexo en la superficie de los dígitos, comunicándose con las venas digitales dorsales y forman de 3 a 4 venas metatarsianas plantares. Estas se comunican por medio de perforantes con el dorso del pie, formando el arco venoso plantar profundo. De este arco surgen las venas plantares medial y lateral, las cuales se unen posterior al maléolo medial y forman las dos venas tibiales posteriores⁶.

El arco venoso plantar y dorsal drenan en las venas marginales medial y lateral a ambos lados del pie. La vena marginal medial continúa como la vena safena mayor anterior al maléolo medial y la vena marginal lateral como la vena safena menor posterior al maléolo lateral⁶.

Hay numerosas comunicaciones entre la vena plantar lateral y la vena marginal lateral y la vena plantar medial y la marginal medial; y entre el arco plantar profundo y el arco plantar superficial⁶.

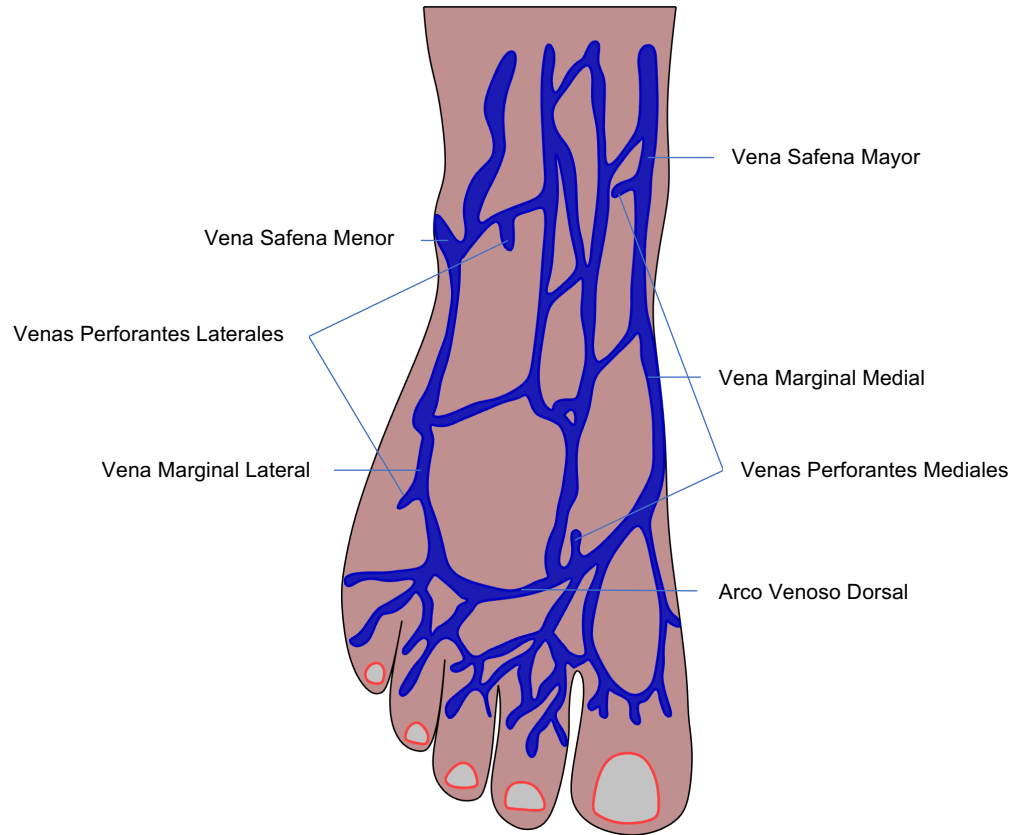


Figura 1. Venas superficiales del dorso del pie.

Fuente: Elaboración propia.

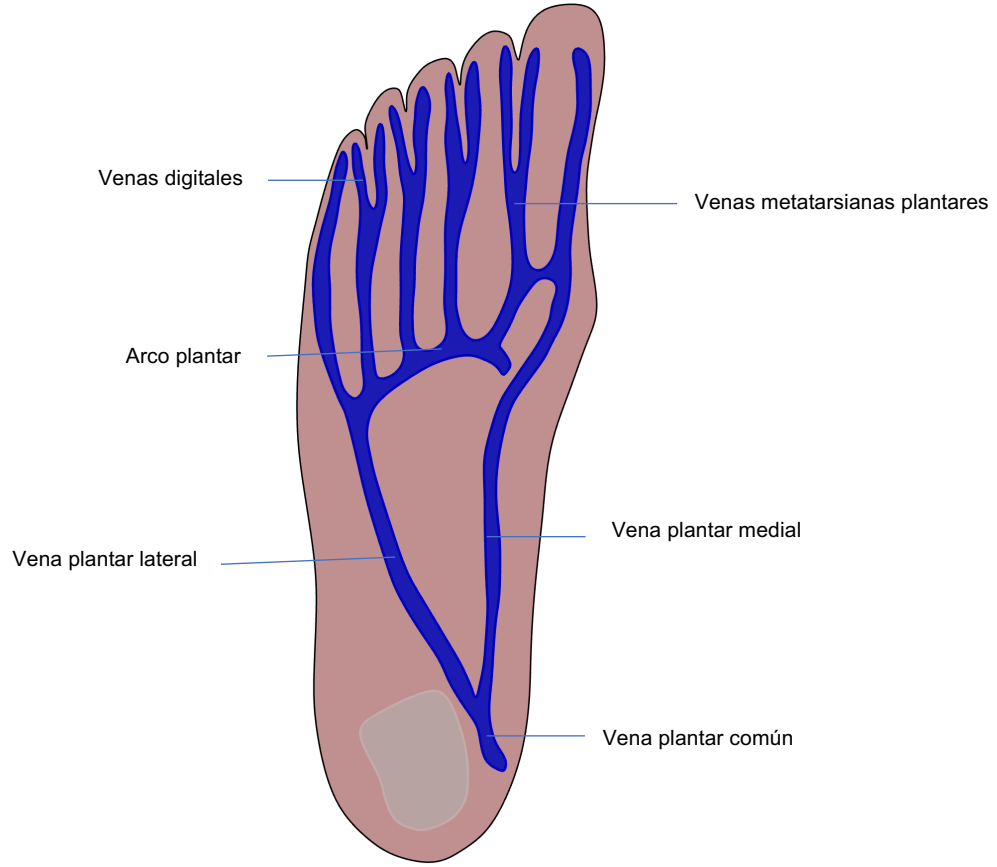


Figura 2. Venas profundas plantares.

Fuente: Elaboración propia.

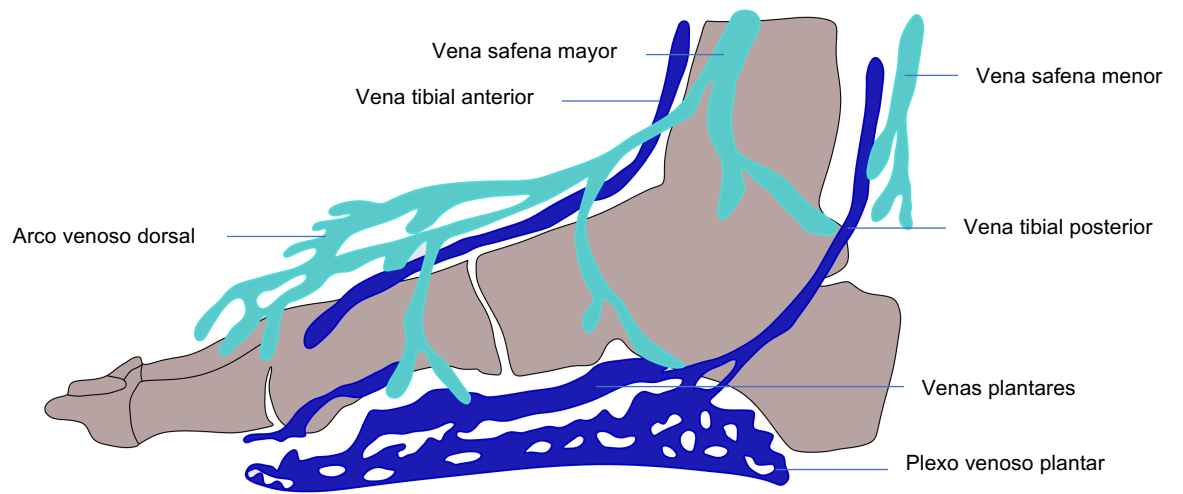


Figura 3. Visión medial de la irrigación de los 2 sistemas.

Fuente: Elaboración propia.

Anatomía arterial del pie

La arteria pedia corresponde a la continuación de la arteria tibial anterior al pasar por debajo del retináculo extensor, entre el tendón del músculo tibial anterior y el extensor del hallux. La arteria pedia puede estar ausente en un 12% de la población. Da 2 ramas a nivel de la articulación tibiotalar, las arterias maleolares anteriores medial y lateral que se anastomosan con la arteria maleolar medial posterior y la rama anterior de la peronea respectivamente. Su localización más frecuente es de 2-3cm lateral al borde medial de la cabeza proximal del primer metatarso, en el dorso del pie. Después, da 3 ramas, la arteria arcuata, arteria tarsal lateral y arteria tarsal medial. La arteria arcuata, en 90% es rama directa de la arteria pedia y en 10% de la arteria tarsal lateral, puede estar ausente en 1/3 de las personas; su trayecto es lateral sobre la bases de 2-4 metatarsos, profundo a los tendones del extensor corto de los dedos. Las arterias metatarsianas dorsales son en su mayoría suplidas por la arteria arcuata o por el arco plantar.^{8,9}

La arteria tibial posterior a nivel del maléolo medial da la rama maleolar medial posterior, que se anastomosa con la rama maleolar medial anterior de la arteria pedia; además da una rama calcánea que irriga talón medial. Su segmento terminal, la arteria plantar común se bifurca en arterias plantar lateral y medial a nivel del septum transversal entre los músculos abductor largo del hallux y flexor corto de los dedos; siendo la lateral la que provee la mayor irrigación al arco plantar. El trayecto de la arteria plantar lateral es hasta la base del quinto metatarsiano, donde se torna medial para formar el arco plantar y suplir a las 4 plantares y algunas de las metatarsianas dorsales. La arteria plantar lateral se comunica con el arco plantar del dorso y forman un arco completo en más de 90% de los casos. La arteria plantar medial se divide en rama superficial tibial y profunda peronea; la profunda viaja del lado lateral del músculo abductor del hallux, a nivel del cuello del primer

⁸ Yamada, Taro; *et al.* (1993) Variations of The Arterial Anatomy of the Foot

⁹ Attinger, C; Cooper, P & Blume, P. (1997) Vascular Anatomy of the Foot and Ankle

metatarso se anastomosa con la primera arteria metatarsiana plantar y puede terminar como la arteria medial de hallux^{8,9}.

En cuanto a la arteria peronea, las perforantes emergen a lo largo del septum intermuscular posterior, lo que divide el compartimento lateral en superficial y profundo. Hay una perforante constante 5cm por arriba del maléolo lateral, la cuál envía una rama al nervio sural; esto es la base del colgajo del nervio sural. Antes de que la arteria peronea emerga a nivel del maléolo lateral, se divide y envía una rama a través del septum intermuscular anterior. La rama posterior emerge lateral entre el tendón de Aquiles y el tendón del músculo peroneo a nivel del maléolo lateral; luego da 4 ó 5 ramas calcáneas antes de terminar a nivel de la tuberosidad del quinto metatarsiano^{8,9}

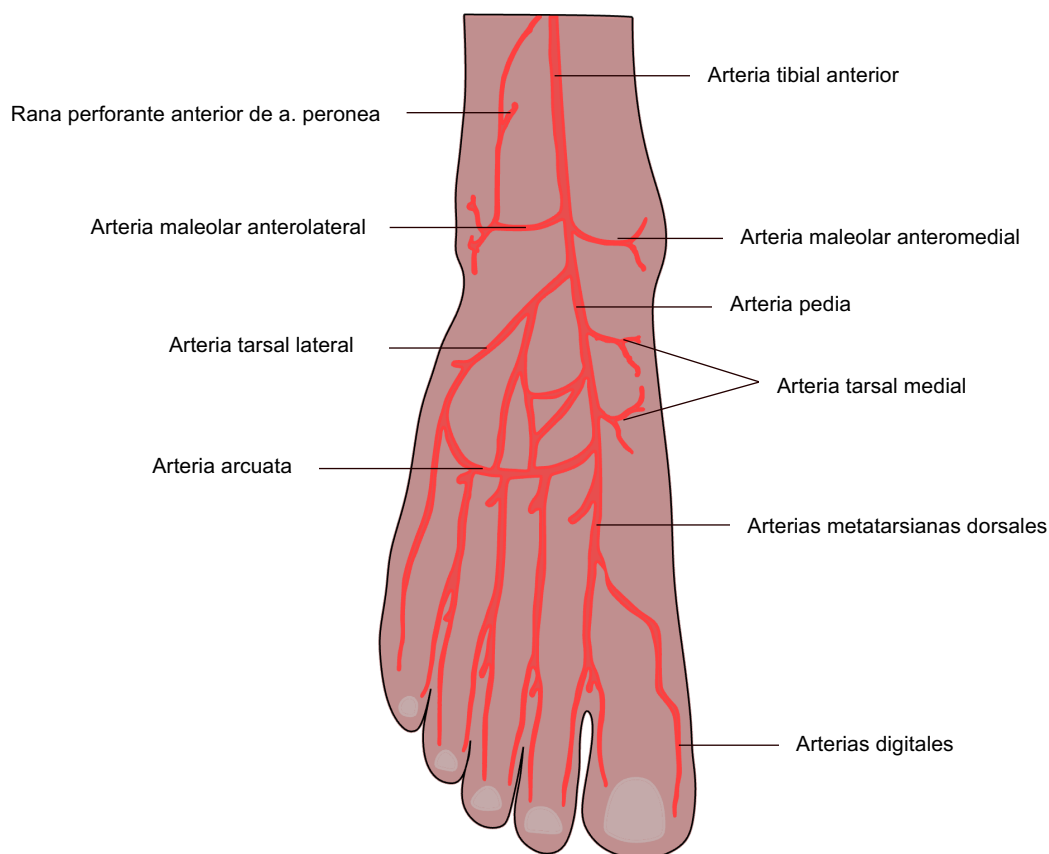


Figura 4. Arterias del dorso del pie.

Fuente: Elaboración propia.

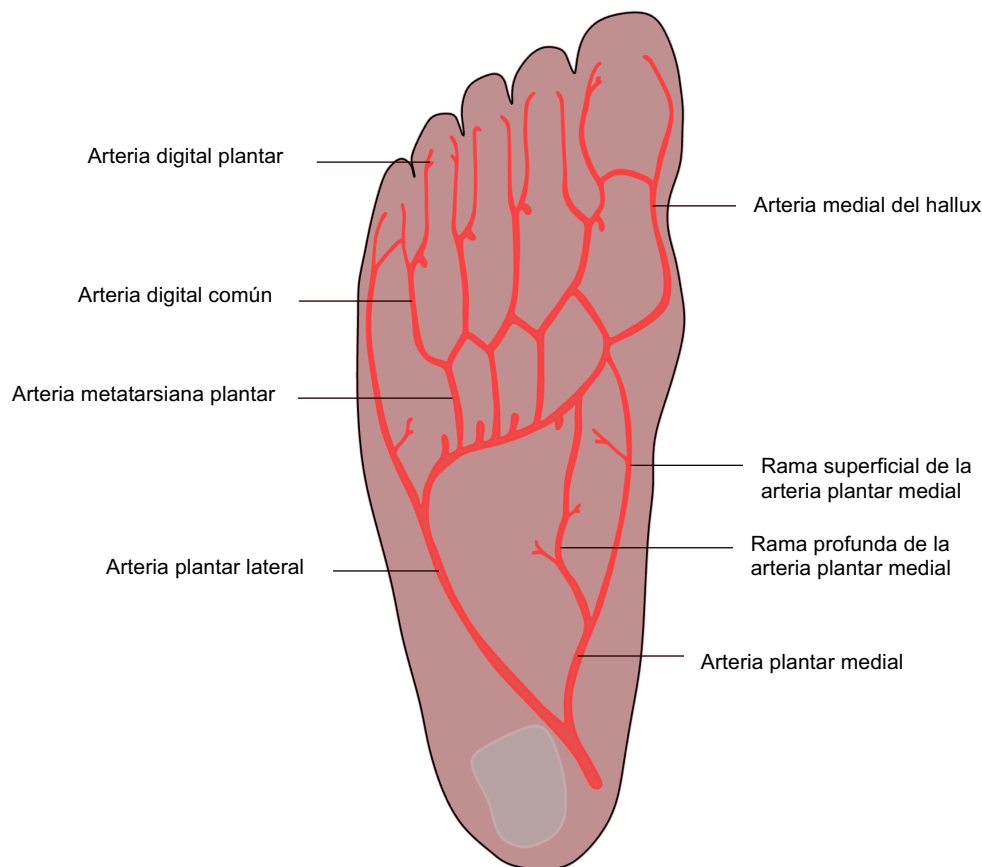


Figura 5. Arterias de la planta del pie.

Fuente: Elaboración propia.

Fisiología

Se define arterialización venosa como el uso de un lecho venoso libre de enfermedad como conducto alternativo para la perfusión de los tejidos periféricos con sangre arterial⁷. La realización de una arterialización venosa involucra una anastomosis de una arteria de un miembro inferior a un conducto venoso, a través del cuál hay flujo reverso hacia un objetivo distal, por medio de un bypass de baja resistencia que permite alto flujo⁵. Además de la mejora nutricional directa por el flujo reverso, se cree que hay beneficio al estimular la angiogénesis y el reclutamiento de colaterales en hibernación².

Se han encontrado mejoras en la microvascularización del músculo esquelético, hasta 11 semanas después de la arterialización. También se ha demostrado que disminuye marcadores isquémicos, con una reducción en el lactato venoso posterior a la reperfusión¹.

Durante el episodio de isquemia-reperfusión puede ocurrir un desbalance entre oxidantes y antioxidantes, en caso de que vaya a favor de los oxidantes se denomina estrés oxidativo. Los oxidantes se forman como un producto del metabolismo aeróbico, pero se pueden producir a niveles anormalmente elevados en condiciones patológicas. Dentro de las defensas antioxidantes existen las enzimáticas y no enzimáticas, por ejemplo se cataboliza el ATP y se forma hipoxantina. Cuando ocurre la reperfusión, se introduce oxígeno en el tejido, el cuál reacciona con la hipoxantina y la xantina oxidasa, lo que ocasiona una explosión de anión superóxido y peróxido de hidrógeno, los cuales en presencia de hierro se forman en radicales hidroxilo que provocan liberación de múltiples agentes proinflamatorios y ocasionan daño tisular¹⁰.

El exceso de lactato de la región isquémica, el cual es resultado del metabolismo anaerobio, se elimina gradualmente en los primeros 10 minutos posterior a la revascularización, ya sea por la conversión a glucosa por el proceso de gluconeogénesis hepática o la oxigenación en piruvatos. Por lo tanto, la arterialización venosa, mejora no sólo la circulación de la piel, sino también la del tejido muscular¹⁰.

Elección de Pacientes

No todos los pacientes con isquemia crítica ameritan tratamiento invasivo, se registra una tasa de cicatrización de 13% de pacientes tratados de forma conservadora con manejo local de la lesión y analgésicos. Al grupo con isquemia crítica que se les ofrece el procedimiento de arterialización venosa corresponde hasta un 20% de pacientes que no

¹⁰ Djoric, P; *et al.* (2012) Distal Venous Arterialization and Reperfusion Injury: Focus on Oxidative Status

son candidatos aptos para intervenciones vasculares debido a oclusiones extensas en la salida de los vasos crurales y pedios¹¹. Ferraresi *et al* clasifican la enfermedad arterial periférica como un problema de grandes arterias, también llamado BAD por sus siglas en inglés “big artery disease”, que lleva a un fallo de *transmisión* y de pequeñas arterias, SAD por sus siglas en inglés “small artery disease” que lleva a un fallo de *distribución*. BAD puede afectar el árbol vascular desde los vasos iliacos hasta la arteria pedia y las arterias plantares, mientras SAD afecta el arco plantar y también las pequeñas arterias ramas del arco, tarsales, metatarsianas, digitales y calcáneas. La forma más severa de fallo a nivel de distribución lleva al comúnmente llamado angiográficamente “pie desierto” y resulta en un escenario de nulas opciones de revascularización tradicional¹².

Se definen como candidatos, pacientes con isquemia Rutherford 5 ó 6 sin opciones de tratamiento invasivo. Cabe aclarar que no son candidatos pacientes con pérdida excesiva de tejido. Además, es vital tratar la infección en caso de que la haya, con drenaje y antibioticoterapia previo a realizar la arterialización venosa. También si hay lesiones cerca del sitio de acceso retrógrado, no son candidatos ideales². Clínicamente, la necrosis no debe haber avanzado de los huesos metatarsianos⁵.

En cuanto al influjo este debe ser óptimo, con flujo ininterrumpido hasta la oclusión. La salida venosa debe ser suficiente para proveer buen flujo a través de la arterialización y es mandatorio tener una imagen del sistema venoso profundo que demuestre su patencia; ya que estructuras críticas como el arco venoso profundo debe estar intacto para asegurarse buen flujo².

Con respecto a condiciones sistémicas, los pacientes deberían tener una fracción de eyección cardiaca mayor al 40% y si hay lesiones coronarias pre existentes estas deben

¹¹ Kum, S; *et al.* (2018) Percutaneous Deep Venous Arterialization in patients with critical limb ischemia: a technical note

¹² Ferraresi, R; *et al.* (2018) BAD transmission and SAD distribution: a new scenario for critical limb ischemia

ser optimizadas. También, se debe ser cauteloso en pacientes que ya tienen una fístula arteriovenosa para diálisis¹¹.

Abordaje Quirúrgico

En cuanto al abordaje quirúrgico abierto, se pueden realizar la anastomosis distal al sistema superficial o profundo, con hallazgos comparables de salvataje de extremidad entre ambos grupos, siendo respectivamente 73% y 76%⁷. La decisión de si realizar un abordaje con el sistema profundo o superficial, depende de la localización de la lesión y de la elección de reperfundir el angiosoma que corresponde anatómicamente (Figura 6).¹³ En la red venosa los niveles más desarrollados corresponden a las venas superficiales dorsales y las venas plantares profundas, las cuáles están conectadas através de diferentes venas perforantes, siendo la perforante más importante la del primer espacio interóseo. También, es importante aclarar, que la red venosa alrededor de la arteria pedia no está tan bien desarrollada¹⁴.

¹³ Alexandrescu, V; *et al.* (2011) Deep calf veins arterialization for inferior limb preservation in diabetic patients with extended ischaemic wounds, unfit for direct arterial reconstruction: preliminary results according to an angiosome model of perfusion.

¹⁴ Migliara, B. (2020) Totally Percutaneous Deep Foot Vein Arterialization in No-option CLTI Patients Anatomical and Technical Key Points

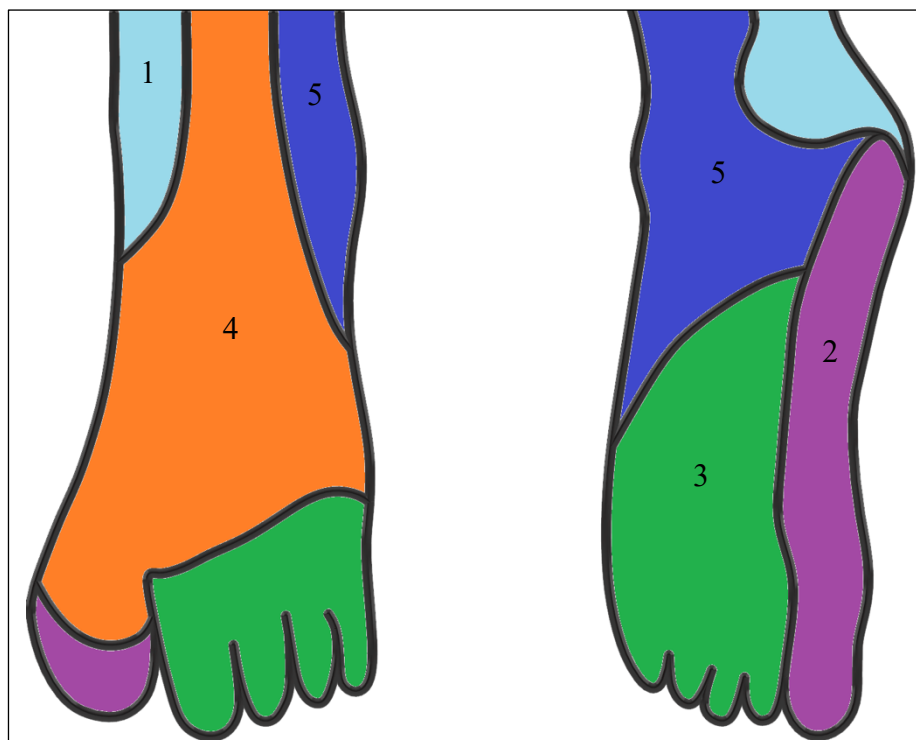


Figura 6. Ilustración de angiosomas. A la izquierda vista dorsal y a la derecha vista plantar. 1. Calcáneo medial; 2. Plantar medial; 3. Plantar lateral; 4. Pedio; 5. Calcáneo lateral.

Fuente: Elaboración propia.

Además, es importante tener presente que las venas plantares laterales son más largas, por lo que tienen mayor capacidad para transportar sangre, lo que las convierte en una buena opción para dirigir flujo hacia el arco venoso plantar. En cuanto a la vena tibial anterior, se debe considerar la angulación anatómica, así como la fascia que recubre su porción distal y la proximal de la vena pedia, lo que puede llevar constricción de las mismas¹¹.

Para medir la tasa de éxito del procedimiento, se define patencia primaria como patencia ininterrumpida, sin procedimientos realizados en el conducto, esto determinado

por índice tobillo brazo, ultrasonido duplex o angiografía. Patencia secundaria después de un procedimiento para proteger el conducto de ocluirse o restaurarlo de una oclusión¹⁵.

Técnica Quirúrgica Abierta

Arterialización Venosa Quirúrgica Superficial

El punto principal y el reto de esta técnica es lograr la destrucción de las válvulas distales sin su perforación. Inicialmente, se debe exponer la vena safena mayor en un sitio que se considere apto para la anastomosis proximal. Además, también se debe exponer la vena mediana marginal para el tratamiento de las válvulas².

Se crea una anastomosis entre la vena safena mayor y la arteria que se haya determinado apropiada de influjo. Después, se realiza una venotomía transversa en el origen de la vena marginal medial, se introduce de manera reversa un valvulotomo y se hacen incompetentes las válvulas proximales. Para la destrucción de las válvulas distales, se introduce de manera anterógrada una pequeña sonda plástica u oliva de metal. Se cierra la venotomía y se ligan las tributarias de la vena safena mayor. Al finalizar, se realiza arteriografía para observar la perfusión del pie a través del arco superficial⁵.

Con respecto a la patencia primaria y secundaria son de 66% y 72% respectivamente, en un plazo de 25 meses. El salvataje de extremidad de un 83% en general y de 75% a un plazo de 2 años⁶.

¹⁵ Lu, X; *et al.* (2006) Meta-analysis of the Clinical Effectiveness of Venous Arterialization for Salvage of Critically Ischaemic Limbs

Arterialización Venosa Quirúrgica Profunda

En esta técnica se realiza una anastomosis entre la arteria determinada apta para influjo, que puede corresponder a arteria femoral común, arteria femoral superficial, arteria poplítea y arterias tibiales proximales, y venas distales meta que incluyen vena tibial posterior y venas plantares. La vena predilecta es una de las concomitantes de la arteria tibial posterior al nivel del maléolo. Idealmente el diámetro venoso debe ser de 3mm o más, sin embargo esto corresponde a información extrapolada de fístulas arteriovenosas para diálisis¹.

Se pueden utilizar como conductos para el bypass la vena safena mayor, vena cefálica o PTFE. El conducto venoso se puede disecar, colocar en posición reversa y tunelizar previo a anastomosis; como también se puede dejar in situ y seccionar válvulas con valvulotomo en caso de tratarse de la vena safena mayor. Comúnmente se realiza anastomosis termino-lateral a nivel de la vena meta y aproximadamente de 5 a 7 días después del procedimiento se liga la vena tibial posterior proximal para prevenir robo del pie y evitar congestión cardiaca¹.

Con respecto a patencia primaria, va desde 44,4 a 87,5% a 1 año y la secundaria de 55,6% en 1 año a 72% en 25 meses. Salvataje de extremidad de 25 hasta 100%, cicatrización de la lesión de 28,6 a 100% y amputación mayor de 0 a 70%⁶.

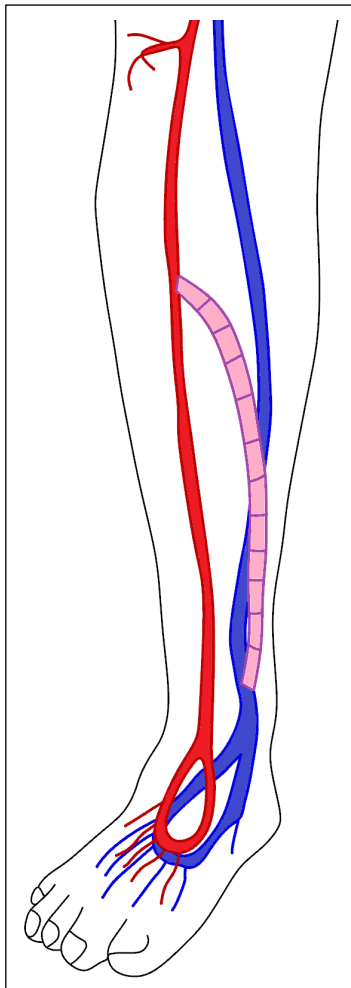


Figura 7. Ejemplo de arterialización venosa profunda. Procedimiento realizado con bypass desde sitio proximal de influjo arterial hasta objetivo venoso distal, siendo el conducto vena safena invertida o sintético.

Fuente: Elaboración propia.

Técnica Endovascular

Uno de los principales beneficios, comparado con la técnica quirúrgica abierta, es que no se deben realizar grandes heridas sobre tejido isquémico, que conllevan alto riesgo de complicaciones e imposibilidad de cicatrización². Una oferta prometedora, que se ha desarrollado recientemente para realizar el procedimiento vía percutánea es LimFlow SA¹⁶.

¹⁶ Schmidt, A; *et al.* Midterm Outcomes of Percutaneous Deep Venous Arterialization With a Dedicated System for Patients With No-Option Chronic Limb-Threatening Ischemia: The ALPS Multicenter Study

En cuanto a aspectos técnicos del procedimiento, se coloca un introductor 7F largo en la arteria femoral superficial, para la sonda arterial que emite ondas ultrasonográficas. Posteriormente, se realiza punción de la vena tibial posterior más apta a nivel maleolar, se coloca introductor 5F que se avanza hacia la vena tibial posterior proximal. El punto ideal de cruce se identifica al realizar tomas angiográficas a través de ambos introductores, (más conocido como doble inyección); este punto ideal debe ser 2-3cm distal al origen de la arterial tibial posterior².

La sonda venosa y la sonda arterial emisora de ondas ultrasonográficas, que es la que contiene la aguja se deben alinear en el punto de cruce; una vez que se alcance la máxima señal se avanza la aguja hacia la vena. Se introduce una guía 0,014 para mantener canalizada la vena tibial posterior después del sitio de punción, y requiere además de un catéter de soporte que se introduce después del retiro de la sonda arterial²

El siguiente paso es canalizar la vena plantar y el arco venoso profundo para facilitar el cambio a una guía 0,018 en la vena marginal. Sobre la guía 0,018 se avanza valvulotomo para la destrucción de las válvulas desde el punto de cruce hasta la vena plantar lateral. Después, se colocan stents recubiertos de 5mm desde la vena tibial posterior distal hasta la arterial tibial posterior proximal y se crea la arterialización propiamente al colocar un stent cubierto sobre el punto de cruce². Al ser cubierto el stent sirve para obstruir el flujo proximal hacia la vena tibial posterior, así disminuyendo el robo del pie y previniendo la sobrecarga cardiaca¹; también funciona generando un endoconducto y así se evita la estasis de la sangre por las múltiples válvulas y el robo por colaterales⁵.

De acuerdo al metaanálisis conducido por Schmidt *et al*, donde se evaluó el LimFlow, se tomaron TcPO₂ basales cerca de la lesión y previo a la arterialización la media fue de 11 mmHg e incrementó a 57.5 mmHg luego de 2 años; este valor se volvió estadísticamente significativo 45 días posterior al procedimiento. Siendo este el cohorte mayor de pacientes consecutivo tratado con LimFlow y en seguimiento por 2 años, mostró

una tasa de éxito de 97% con supervivencia libre de amputación de 83,9%, 71% y 67,2% a 6, 12 y 24 meses respectivamente. El 86% alcanzó la cicatrización completa a los 12 meses¹⁶.

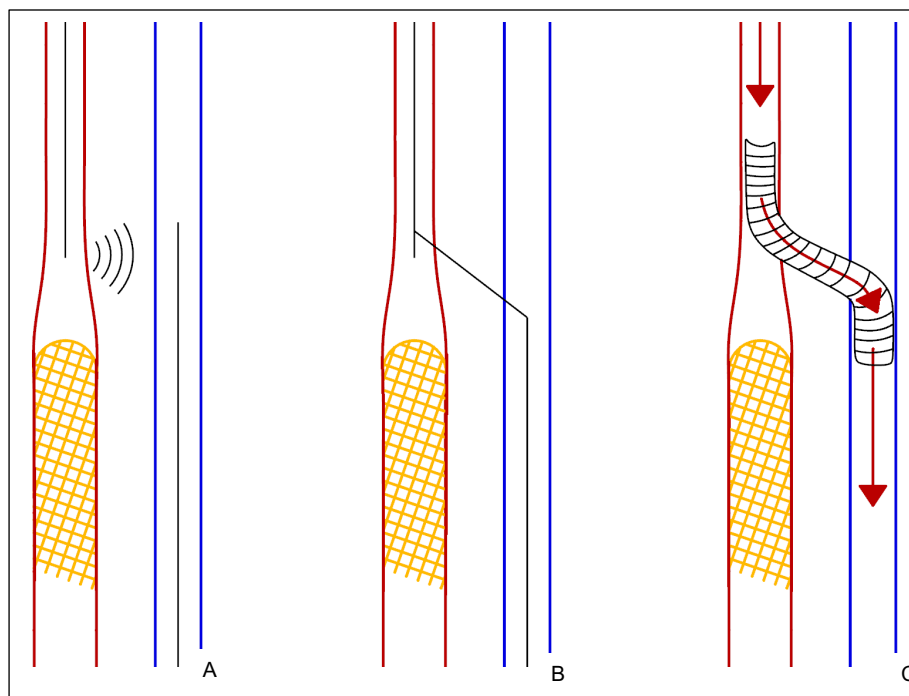


Figura 8. Técnica de arterialización venosa con sistema LimFlow. A. Catéteres se alinean con señal de ultrasonido. B. Cruce e inserción de la guía. C. Despliegue del stent recubierto.

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que el LimFlow no es un sistema siempre disponible y su costo es elevado, se describe una técnica de arterialización venosa endovascular simplificada llamada VAST por sus siglas en inglés (Venous Arterialization Simplified Technique). Bajo anestesia local con sedación, una guía 0,014 se deja en el lugar de la oclusión, un balón de bajo perfil 2,5-3 x 40mm se avanza sobre la guía. Se obtiene acceso venoso ecoguiado de una vena tibial o alguna vena del pie, se inserta un introductor 4F con dirección proximal y se avanza un snare de 5mm hasta estar paralelo con el balón arterial. Una vez que los 2 elementos están alineados, el intensificador de imagen se ajusta para adquirir el mejor ángulo de proyección para visualizar el loop del snare totalmente abierto y el balón inflado. La posición final que

adoptan ambos vasos es lo que decide cuál técnica se utilizará, la primera en caso de que la vena esté anterior a la arteria y la segunda si la vena está posterior a la arteria¹⁷.

VAST 1 (Vena anterior a la arteria), se inserta una aguja de micropunción casi perpendicular a la piel, en dirección al loop del snare y pasando a través de ambas paredes de la vena, incluyendo el loop del snare. En este punto se contrae el loop del snare para confirmar el traspaso de la aguja. Una vez que la aguja ha salido de la vena, se sigue avanzando hasta que llega a la arteria y punza el balón. Se avanza una guía 0,018 a través de la aguja y se coloca dentro del balón ya punzado. Se retira el balón con cautela de mantener la guía 0,018 atrapada dentro de este, para poder externalizarla por el introductor femoral. Posterior a establecer la conexión arteriovenosa, se introduce un catéter 4F de soporte y se avanza anterógradamente hasta la vena, a través de este catéter se introduce una guía 0,014 hasta que se encuentra en el lumen venoso, el cual se confirma por inyección de medio de contraste. Se retira la primera guía y el introductor venoso y se dilata la anastomosis arteriovenosa¹⁷.

¹⁷ Ysa, A; *et al.* (2019) Homemade Device to Facilitate Percutaneous Venous Arterialization in Patients With No-Option Critical Limb Ischemia

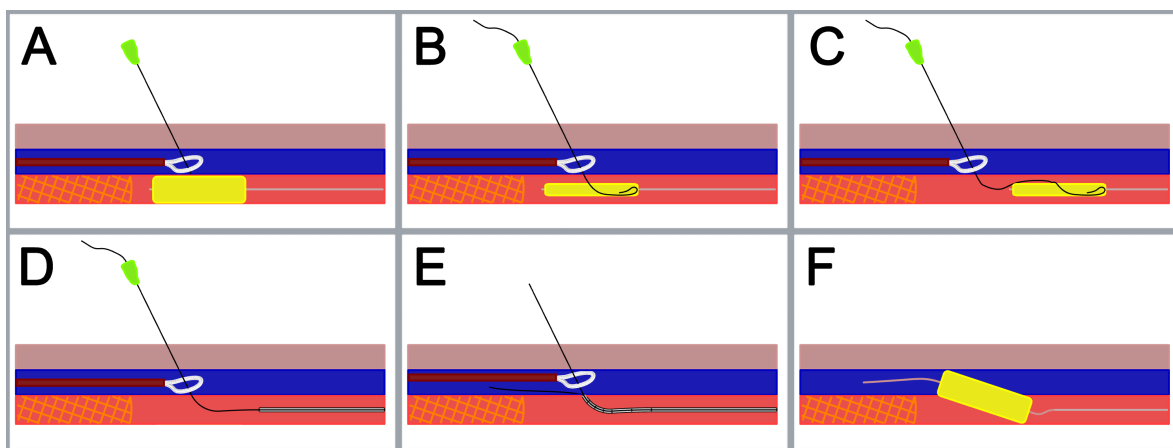


Figura 9. VAST 1 – vena anterior a la arteria. (A) Se inserta la aguja, pasando a través de las 2 paredes de la vena y el loop del snare. (B) La aguja llega a la arteria y punza el balón, se avanza una guía 0,018 dentro del balón. (C) Se retira el balón, manteniendo la guía dentro para poder externalizarlo por el introductor femoral. (D) Se avanza un catéter de soporte vía anterógrada. (E) Una segunda guía 0,014 se avanza hasta el lumen venoso. (F) Angioplastia de la comunicación arteriovenosa.

Fuente: Elaboración propia.

VAST 2 (Arteria anterior a la vena), la aguja de micropunción se inserta en dirección al balón y pasa a través de las 2 paredes del balón, una vez que la aguja ha salido de la arteria se avanza hacia el loop del snare, hasta que atraviesa la vena y el loop. El loop se contrae para verificar el paso de la aguja y se avanza una guía 0,018; se retira la aguja y el snare se cierra y se recaptura para que la guía se pueda externalizar a través del acceso venoso. El balón punzado se retrae ligeramente y con cuidado, y por el introductor venoso se coloca un catéter de soporte 4F que se pasa hasta la arteria. Finalmente, una guía 0,014, se introduce por el catéter hasta que llega al lumen arterial, se confirma posición por inyección de contraste. La primera guía y el balón punzado se recuperan por completo. Se dilata la anastomosis arteriovenosa a través del acceso venoso¹⁷.

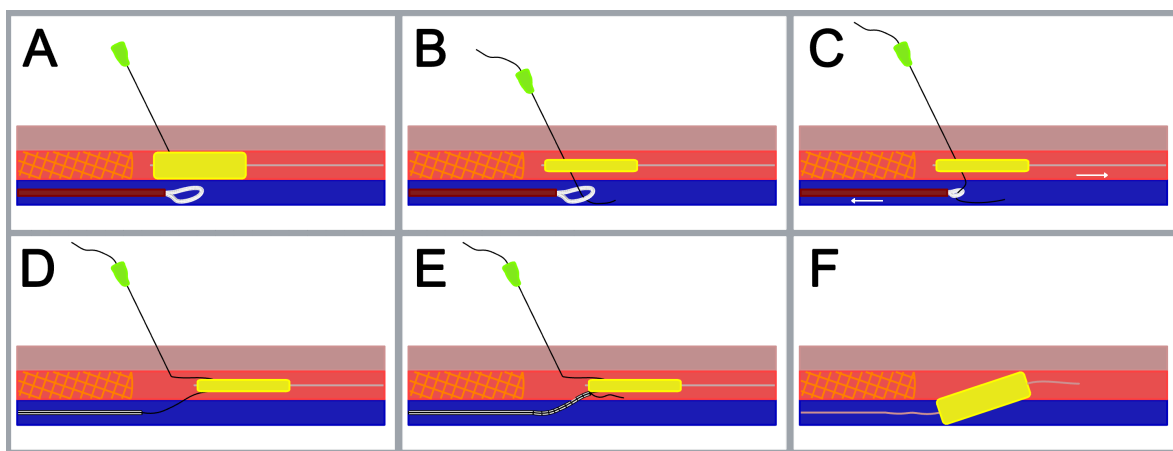


Figura 10. VAST 2 – vena posterior a la arteria. (A) La aguja se inserta posicionada hacia el balón en la arteria. (B) La aguja se avanza, cruzando el balón y la vena, hasta llegar hasta el loop del snare. (C) Se retira la aguja, se cierra el loop del snare y se retira por el introductor venoso. (D) Un catéter de soporte se avanza a través de la guía venosa a la arteria. (E) Una segunda guía 0,014 se avanza hasta estar posicionada en el lumen venoso. (F) Angioplastia de la comunicación arteriovenosa.

Fuente: Elaboración propia.

En caso de que haya estenosis residual, flujo limitante, se puede realizar angioplastia con un balón cortante 3,5 x 10mm. En la serie de pacientes presentada por Ysa, A. *et al*, del total de 5 pacientes se logra completar la fístula arteriovenosa en 4; de estos 3 cicatrizan por completo y resuelven dolor en reposo en 20 ± 4 semanas, mientras uno con extensa gangrena amerita amputación transtibial a pesar de que la fístula continuaba permeable¹⁷.

Técnica Híbrida

Se combina realización de bypass y abordaje endovascular en el cual se destruyen las válvulas o se embolizan ramas. Para la realización del bypass se utiliza de influjo la arteria patente más distal, la vena objetivo ya sea la vena medial marginal o la vena tibial posterior de acuerdo a disponibilidad y localización de la lesión y de conducto el preferido

la vena safena mayor. En cuanto al conducto puede ser en configuración invertida o en caso de ser in situ se realiza destrucción retrógrada de válvulas¹⁸.

Inmediatamente posterior a la realización del bypass, se puede realizar la destrucción valvular y como segundo procedimiento, para focalizar el flujo sanguíneo en la lesión de 14 a 28 días después se embolizan las colaterales. El procedimiento se realiza bajo anestesia local, utilizando un acceso femoral anterógrado con introductor 4F ó 5F. El bypass se cruza con una guía 0,014 ó 0,018 y un catéter diagnóstico Berenstein 4F, con precaución al pasar las anastomosis. Para cruzar las válvulas, se coloca el catéter frente a la válvula y de manera precisa se empuja una guía con punta de nitinol sobre las valvas, cambiando la dirección de la guía al rotar la punta del catéter hasta que finalmente se cruzan las válvulas. Hacerlo de manera pausada es esencial, sino puede ocurrir una perforación o precipitarse un espasmo venoso. Para la destrucción propiamente de las válvulas se insufla un balón de 3-4mm a 14-16 atm; si después de esto las válvulas persisten competentes se repite la acción con un balón de 5-6mm¹².

La destrucción valvular distal se elije de acuerdo al tipo de bypass, si es con la vena medial marginal se cruzan las válvulas hasta llegar al arco dorsal; o si la anastomosis es con la vena tibial posterior se cruzan las válvulas de la vena plantar lateral hacia el arco plantar, en caso de que no sea posible, se intenta con la vena plantar medial¹². La destrucción valvular de las venas distales del pie, se puede hacer con el paso de dilatadores arteriales, cánulas de irrigación, valvulotomos, balones de corte o catéter de Fogarty¹⁸.

Manejo Post Quirúrgico

Posterior al procedimiento de arterialización, se debe mantener a los pacientes con anticoagulación oral y clopidogrel por 3 meses y después con clopidogrel y aspirina de por

¹⁸ Ferraresi, R; *et al.* (2019) Hybrid Foot Vein Arterialization in No-Option Patients With Critical Limb Ischemia: A Preliminary Report

vida, esto de acuerdo a centros europeos, pues aún no se ha estandarizado. La antibioticoterapia de acuerdo a la práctica institucional, en algunos centros son más liberales si se realiza el procedimiento de forma percutánea por el uso de stents recubiertos.

Según Schreve *et al*, el protocolo de vigilancia debe ser cada 2 semanas por los primeros 2 meses, luego 3, 6 y 12 meses post procedimiento. Este seguimiento ambulatorio se realiza con ultrasonido duplex¹¹. Las medidas deben incluir la velocidad pico sistólica y el volumen de flujo; sin embargo es difícil determinar cuando la arterialización esta en riesgo de oclusión o requiere una reintervención ya que hasta el momento sólo hay un estudio que analiza el seguimiento con duplex en pacientes con arterialización venosa. Se puede considerar la posibilidad de estenosis u oclusión cuando la velocidad pico sistólica (VPS) es <55cm/s y el volumen de flujo <195ml/min. Con respecto a valores representativos de patencia, VPS>99cm/s y volumen de flujo > 364ml/min medidos intrastent, sin embargo en medio de estos rangos existe un área gris en la que no se pueden tomar decisiones definitivas¹⁹.

Manejo local de la lesión

Debido a que la fisiología después de la arterialización es diferente que a la de la revascularización estándar, el manejo de la lesión también varía. Se debe esperar para manejo definitivo de 6 a 8 semanas, y de esta manera se permite el proceso de remodelación de la distribución vascular del pie¹¹. Finalmente cuando se completa la arterialización, la cirugía de pie es diferente a la que se realiza posterior a revascularización usual, se evitan las suturas y el cierre por primera intención, sino que se busca más cierre por segunda intención utilizando terapias multimodales y técnicas sin tensión¹⁴. Se puede requerir únicamente de desbridación, amputaciones digitales o en el caso de amputaciones

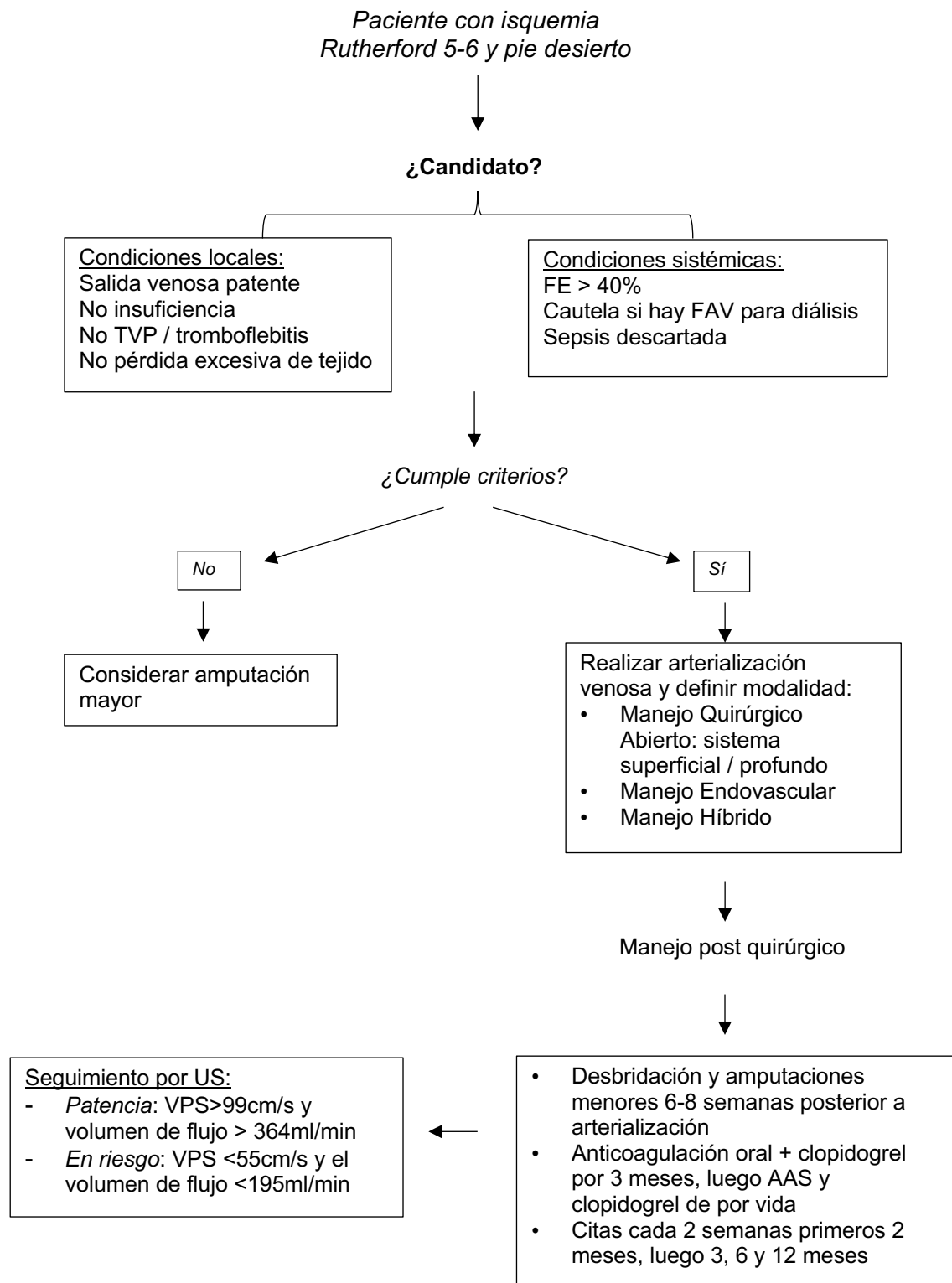
¹⁹ Schreve, M; *et al*. (2020) Volume Flow and Peak Systolic Velocity of the Arteriovenous Circuit in Patients after Percutaneous Deep Venous Arterialization

transmetatarsianas para el cierre por segunda intención se pueden utilizar sustitutos dérmicos como colágeno para cubrir hueso expuesto¹⁸.

Complicaciones

La complicación más frecuente en el periodo post quirúrgico, ocurriendo en casi todos los pacientes, es edema, sin embargo generalmente desaparece de 5-30 días después y se maneja de manera conservadora con elevación¹⁵. También, complicaciones de acceso o nefropatía por contraste en caso de que sea endovascular, infección, sangrado, trombosis del injerto, amputación por gangrena venosa. Dentro de las complicaciones generales, también se encuentran insuficiencia cardiaca y neumonía¹⁰. La mortalidad en general va desde 0 a 33,3%¹⁰.

Flujograma de manejo



Conclusiones

El manejo de los pacientes con isquemia crítica sin opciones de tratamiento ha tenido una mejora significativa en el último siglo, particularmente en la última década, esto gracias a la aplicación de nuevas técnicas quirúrgicas y al aumento de la investigación al respecto. A pesar de esto, la enfermedad arterial periférica, continúa siendo la tercera causa de mortalidad cardiovascular en el mundo, únicamente precedida por la enfermedad coronaria y la enfermedad cerebrovascular.

Ya que los pacientes con isquemia crítica muchas veces están en el estadio final de sus vidas, su reserva funcional es pobre y su capacidad de rehabilitación muy limitada, se justifica realizar todos los intentos para tratar de preservar la extremidad. Lo anterior, amerita la implementación de técnicas quirúrgicas contemporáneas como la arterialización venosa por parte del personal médico.

Es de suma importancia precisar los detalles anatómicos, como varía la fisiología con respecto a una revascularización convencional, para así poder elegir de manera adecuada al candidato ideal, brindar el mejor manejo postquirúrgico y tener baja tasa de complicaciones. Con respecto a las diferentes técnicas quirúrgicas, tener claro cuál es el sistema venoso que se arterializará, si el superficial o profundo; y la técnica que se utilizará. Si bien en nuestro país no contamos con LimFlow SA, un cirujano vascular con experiencia en punciones retrógradas puede realizar el procedimiento VAST, el cuál también ha tenido resultados prometedores.

La clave del éxito en la realización de una arterialización venosa es llevar sangre presurizada al arco venoso del pie, esto se favorece mediante una anastomosis más distal y siempre asegurándose de la destrucción valvular para permitir el flujo retrógrado. También del cuidado local del pie y seguimiento estricto de la evolución del paciente.

Por lo tanto, es de vital importancia tanto para el cirujano vascular como para el residente de vascular periférico en formación estar familiarizados con la teoría y práctica de la arterialización venosa; esto por la alta prevalencia de pacientes con isquemia crítica hoy y que aumentará aún más en un plazo cercano. Todo con la intención de siempre ofrecer el tratamiento más eficiente y dejar la amputación mayor como última alternativa.

Referencias

1. Ho, V; Gologorsky, R; Chandra, V; Prent, A; Lee, J & Dua, A. (2019) Open, percutaneous, and hybrid deep venous arterialization technique for no-option foot salvage. *J Vasc Surg* 71(6), 2151-2160.
2. van den Heuvel, D; Schreve, M & Kum, S. (2018) Venous Arterialization for CLI: When, Why, and How? *Endovascular Today* 17(5), 72-76.
3. Conte, M; Bradbury, A; Kolh, P; White, J; Dick, F; Fitridge, R; Mills, J; Ricco, JB; Suresh, K; Murad, M; & GVG Writing Group. Global Vascular Guidelines on the Management of Chronic Limb-Threatening Ischemia. *J Vasc Surg* 69(6S), 3S-125S.
4. Norgren, L; Hiatt, R; Dormandy, J; Nehler, M; Harris, K; & Fowkes, F. (2007) Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). *J Vasc Surg* 45(1), S5-S67.
5. Lichtenberg, M; Schreve, M; Ferraresi, R; van den Heuvel, D; Ünlü, Ç; Cabane, V; & Kum, S. (2018) Surgical and endovascular venous arterialization for treatment of critical limb ischaemia. *Vasa* 47(1), 17-22.
6. Engelke, C; Morgan, R; Quarmby, J; Taylor, R; & Belli, A. (2001) Distal Venous Arterialization for Lower Limb Salvage: Angiographic Appearances and Interventional Procedures. *RadioGraphics* 21(5), 1239-1248.
7. Schreve, M; Vos, C; Vahl, A; Vries, J; Kum, S; Borst, G; & Ünlü, Ç. (2017) Venous Arterialisation for Salvage of Critically Ischaemic Limbs: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 53, 387-402.
8. Yamada, Taro; Gloviczki, P; Bower, T; Naessens, J; & Carmichael, S. (1993) Variations of The Arterial Anatomy of the Foot. *The American Journal of Surgery* 166, 130-135.

9. Attinger, C; Cooper, P & Blume, P. (1997) Vascular Anatomy of the Foot and Ankle. *Operative Techniques in Plastic and Reconstructive Surgery* 4(4), 183-198.
10. Djoric, P; Zeleskov-Djoric,J; Stanisavljevic, D; Markovic, Z; Zivkovic, V; Vuletic, M; Djuric, D; & Jakovljevic, V. (2012) Distal Venous Arterialization and Reperfusion Injury: Focus on Oxidative Status. *Eur Surg Res* 48, 200-207.
11. Kum, S; Huizing, E; Schreve, M; Ünlü, Ç; Ferraresi, R; Samarakoon, L; & van den Heuvel, D. (2018) Percutaneous Deep Venous Arterialization in patients with critical limb ischemia: a technical note. *J Cardiovasc Surg* 59(5), 665-669.
12. Ferraresi, R; Mauri, G; Losurdo, F, Troisi, N; Brancaccio, D; Caravaggi, C; & Neri, L. (2018) BAD transmission and SAD distribution: a new scenario for critical limb ischemia. *J Cardiovasc Surg* 59(5), 655-664.
13. Alexandrescu, V; Ngongang, C; Vincent, C; Ledent, G; & Hubermont, G. (2011) Deep calf veins arterialization for inferior limb preservation in diabetic patients with extended ischaemic wounds, unfit for direct arterial reconstruction: preliminary results according to an angiosome model of perfusion. *Cardiovascular Revascularization Medicine* 12, 10-19.
14. Migliara, B. (2020) Totally Percutaneous Deep Foot Vein Arterialization in No-option CLTI Patients Anatomical and Technical Key Points. *Journal of Vascular and Endovascular Therapy* 5(2), 1-2.
15. Lu, X; Idu, M; Ubbink, D & Legemate, D. (2006) Meta-analysis of the Clinical Effectiveness of Venous Arterialization for Salvage of Critically Ischaemic Limbs. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 31, 493-499.
16. Schmidt, A; Schreve, M; Huizing, E; del Giudice, C; Branzan, D; Ünlü, Ç; Varcoe, R; Ferraresi, R; & Kum, S. Midterm Outcomes of Percutaneous Deep Venous Arterialization With a Dedicated System for Patients With No-Option Chronic Limb-

- Threatening Ischemia: The ALPS Multicenter Study. *Journal of Endovascular Therapy* 27(4), 658-665.
17. Ysa, A; Lobato, M; Mikelarena, E; Arruabarrena, A; Gómez, R; Apodaka, A; Metcalfe, M; & Fonseca, J.. (2019) Homemade Device to Facilitate Percutaneous Venous Arterialization in Patients With No-Option Critical Limb Ischemia. *Journal of Endovascular Therapy* 26(2), 213-218.
 18. Ferraresi, R; Casini, A; Losurdo, F; Caminiti, M; Ucci, A; Longhi, M; Schreve, M; Lichtenberg, MI Kum, S; & Clerici, G. (2019) Hybrid Foot Vein Arterialization in No-Option Patients With Critical Limb Ischemia: A Preliminary Report. *Journal of Endovascular Therapy* 26(1), 7-17.
 19. Schreve, M; Huizing, E; Kum, S; Vries, J; Borst, G; & Ünlü, Ç. (2020) Volume Flow and Peak Systolic Velocity of the Arteriovenous Circuit in Patients after Percutaneous Deep Venous Arterialization. *Diagnostics* 10(10), 1-11.