

Variantes anatómicas de la arteria poplítea y sus ramas distales mediante tomografía computerizada



TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Alfonso González-Cruz Soler

Dirigida por:

Dr. Juan Alberto Sanchis Gimeno

Dr. Federico Mata Escolano

Dr. Alfonso González-Cruz Cervellera

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN MEDICINA (3042 MEDICINA). FACULTAD DE
MEDICINA Y ODONTOLOGÍA. UNIVERSITAT DE VALÈNCIA**

Valencia, 2014

Departamento de Medicina. Facultad de Medicina y Odontología. Universitat de València.

TITULO:

Variantes anatómicas de la arteria poplítea y sus ramas mediante tomografía computerizada.

AUTOR:

Alfonso González-Cruz Soler. Licenciado en Medicina y Cirugía.

DIRECTORES:

Dr. Juan Alberto Sanchis Gimeno.

Dr. Federico Mata Escolano.

Dr. Alfonso González-Cruz Cervellera.

A mis maestros, porque sacaron lo mejor de mi.

A mis padres, porque siempre han estado a mi lado.

A mi esposa, porque no sería el mismo sin ella.



JUAN ALBERTO SANCHIS GIMENO, Profesor Titular del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Universitat de València

FEDERICO MATA ESCOLANO, Doctor en Medicina por la Universitat de València

ALFONSO GONZÁLEZ-CRUZ CERVELLERA, Doctor en Medicina por la Universitat de València y Jefe de Servicio de Medicina Interna del Hospital General Universitario de Valencia

CERTIFICAN QUE:

El trabajo de Tesis Doctoral titulado “Variantes anatómicas de la arteria poplítea y sus ramas distales mediante tomografía computerizada” que presenta el licenciado D. Alfonso González-Cruz Soler, para optar al Grado de Doctor, ha sido realizado bajo su dirección, estando de acuerdo para ser juzgado.

Y para que conste y surta los efectos oportunos, firman la presente en Valencia a 2 de julio de 2014.

Fdo: JA. Sanchis Gimeno

Fdo: F. Mata Escolano

Fdo: A. González-Cruz Cervellera

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Recuerdo embriológico: formación de la arteria poplítea	17
1.2. Recuerdo anatómico	22
1.2.1. Arteria poplítea	22
1.2.2. Arteria tibial anterior	25
1.2.3. Arteria tibial posterior	29
1.2.4. Arteria peronea	31
1.3. Las variaciones de la arteria poplítea y sus ramas terminales	32
1.4. La tomografía computerizada en el estudio de las variantes anatómicas de la arteria poplítea	35
1.5. La angiografía mediante tomografía computerizada: Angio-TC	37
1.5.1. Aspectos técnicos de la tomografía computerizada multidetectores (TCMD) que inciden en el estudio de la patología vascular	38
1.5.2. Contrastes, parámetros de inyección y tiempo de circulación	39
1.5.3. Valoración de la angio-TC en las estaciones de trabajo	44
1.6. Razones e interés científico-médico del tema	52
2. OBJETIVOS	55
3. MATERIAL Y MÉTODOS	59
3.1. Sujetos estudiados	61

3.2. Metodología Angio-TC realizada	63
3.3. Clasificación de los patrones de ramificación vascular	70
3.4. Estudio estadístico	76
4. RESULTADOS	77
5. DISCUSIÓN	97
6. CONCLUSIONES	109
7. BIBLIOGRAFÍA	113

Lista de tablas y figuras

Figura 1-1. Estadios del desarrollo de las arterias del miembro inferior. (Tomado de Drake et al., 2011).

Figura 1-2. Desarrollo embriológico de la arteria poplítea, modificado de Senior, 1919. (Tomado de Cronenwett et al., 2000).

Figura 1-3. Imagen axial de angio-TC a nivel de la arteria poplítea.

Figura 1-4. Imágenes MPR, coronal y sagital de angio-TC de miembros inferiores.

Figura 1-5. Reconstrucción en 3 dimensiones – Volume Rendering (3DVR) de angio-TC de miembros inferiores (tras sustracción de las estructuras óseas).

Figura 1-6. Reconstrucción en Proyección de Máxima Intensidad (MIP) de angio-TC de miembros inferiores (tras sustracción de las estructuras óseas).

Figura 3-1. Escáner General Electric LightSpeed VCT.

Figura 3-2. Posición del paciente antes de la adquisición de imágenes.

Figura 3-3. Pantalla de control: Escanograma (scout) desde diafragma hasta los pies.

Figura 3-4. Pantalla de control: ROI localizado en aorta abdominal.

Figura 3-5. Estación de trabajo Advantage Windows, mostrando los diferentes protocolos de reconstrucción de las imágenes.

Figura 3-6. Estación de trabajo Advantage Windows, mostrando el postprocesado automático de reconstrucción de imágenes.

Figura 3-7. Tipos IA, IB y IC. (Tomado de Kim et al., 1989).

Figura 3-8. Tipos IIA-1, IIA-2, IIB y IIC. (Tomado de Kim et al., 1989).

Figura 3-9. Tipos IIIA, IIIB y IIIC. (Tomado de Kim et al., 1989).

Figura 4-1. Patrón de ramificación Tipo IA en miembro inferior derecho en imagen MIP.

Figura 4-2. Patrón de ramificación Tipo IB en miembro inferior derecho en imagen MIP.

Figura 4-3. Patrón de ramificación Tipo IC en miembro inferior izquierdo en imagen MIP.

Figura 4-4. Patrón de ramificación Tipo IIA-1 en miembro inferior izquierdo en imagen en 3D-VR.

Figura 4-5. Patrón de ramificación Tipo IIA-2 en miembro inferior derecho en imagen en 3D-VR con sustracción ósea.

Figura 4-6. Patrón de ramificación Tipo IIB en miembro inferior izquierdo en imagen MIP.

Figura 4-7. Patrón Tipo de ramificación IIC en miembro inferior derecho en imagen MIP.

Figura 4-8. Patrón de ramificación Tipo IIIA en miembro inferior izquierdo en imagen MIP.

Figura 4-9. Patrón de ramificación Tipo IIIB en miembro inferior derecho en imagen MIP.

Figura 4-10. Patrón de ramificación Tipo IIIC en miembro inferior derecho en imagen MIP.

Figura 4-11. Patrón de ramificación Tipo IC+IIIB en miembro inferior derecho en imagen MIP y en imagen 3D-VR con sustracción ósea.

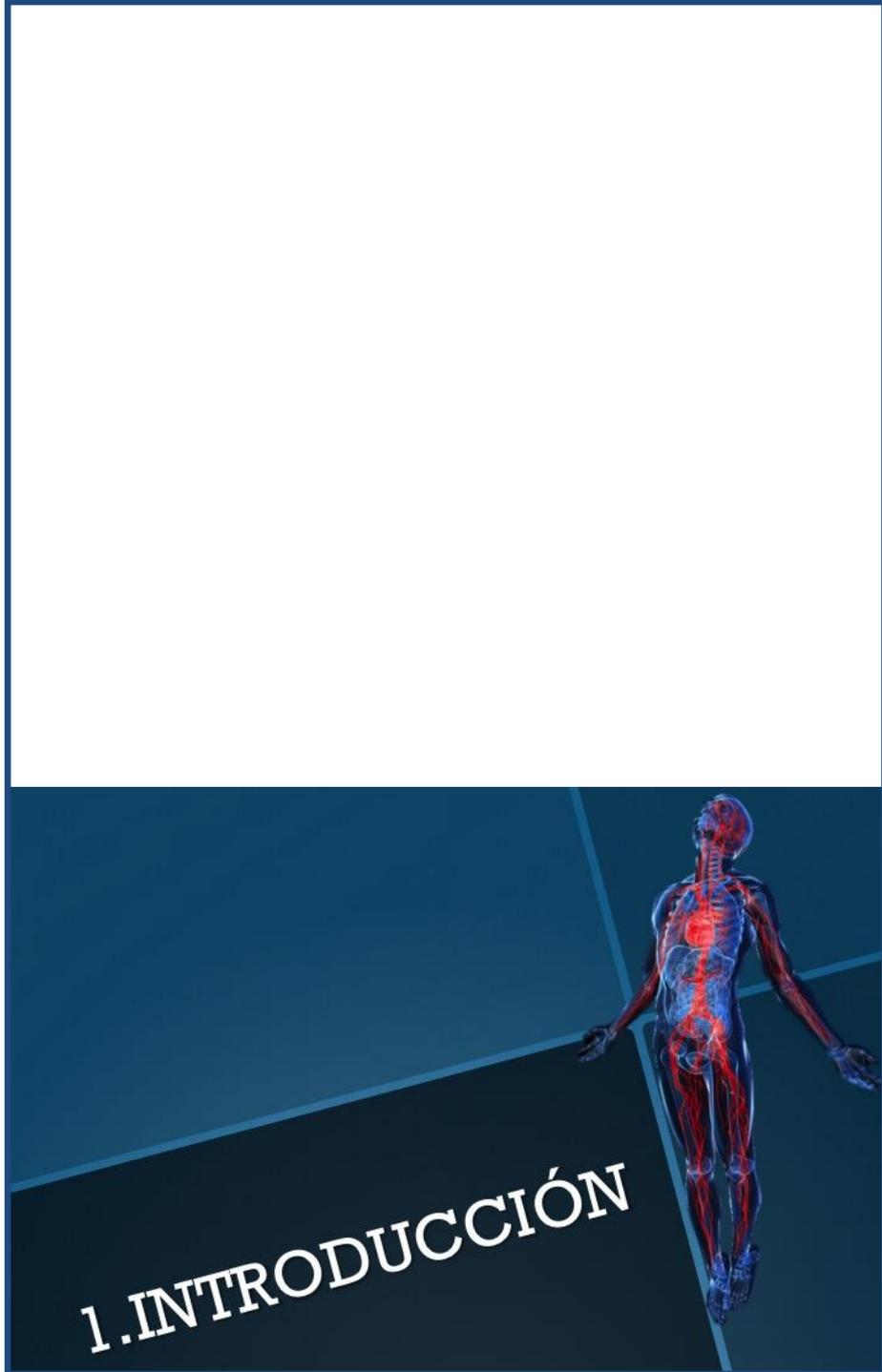
Figura 4-12. Patrón de ramificación Tipo IIC+IIIA en miembro inferior derecho en imagen MIP y en imagen 3D-VR con sustracción ósea.

Figura 4-13. Patrón de ramificación Tipo IIB+IIIA en miembro inferior izquierdo en imagen 3D-VR con sustracción ósea y en imagen MIP.

Tabla 4-1. Distribución de los patrones de ramificación de la arteria poplítea, en función de lateralidad y sexo.

Tabla 5-1. Trabajos clásicos sobre variantes anatómicas en la ramificación de la arteria poplítea.

Tabla 5-2. Frecuencia de variantes anatómicas en la ramificación de la arteria poplítea observadas en diferentes estudios.



1.1. Recuerdo embriológico: formación de la arteria poplítea

Los vasos sanguíneos primitivos derivan del tejido angioblástico, que se forma por diferenciación de las células mesenquimales en tres regiones: a) la pared del saco vitelino, b) el pedículo corporal, y c) el corion [Drake et al., 2011].

Al principio de la tercera semana, en el saco vitelino y en la base del pedículo corporal, se encuentran pequeños grupos de células más o menos esféricas, son los denominados islotes sanguíneos. Todavía no se han demostrado con precisión las fases de la transformación de los islotes sanguíneos en vasos que contienen sangre, pero, en general, se cree que las células periféricas de los islotes se aplanan y forman el endotelio vascular, mientras que las células centrales se convierten en los corpúsculos sanguíneos rojos primitivos. Más tarde, estos pequeños espacios que contienen sangre forman una malla continua de pequeños vasos [Drake et al., 2011; Moore et al, 2013].

En el extremo coriónico del pedículo corporal y en el mesodermo que reviste el corion no se encuentran islotes sanguíneos típicos, pero las células del mesodermo dan origen a trabéculas sólidas de angioblastos. Cada trabécula contiene dos o tres núcleos dispuestos en una simple hilera, que pronto delimitan un espacio ocupado por una o más células nucleadas que contienen hemoglobina. Estos espacios se fusionan para formar los vasos sanguíneos, que por consiguiente están revestidos por derivados del mesodermo [Drake et al., 2011; Carlson, 2014].

Por tanto, los vasos sanguíneos primitivos se forman en varios centros separados; de las paredes de estos vasos crecen yemas, que se canalizan y convierten en

nuevos vasos, que junto con los de las áreas vecina, forman una estrecha malla [Drake et al., 2011; Coalson y Tomasek, 2014].

Este sistema vascular primitivo se conecta posteriormente al corazón en desarrollo que, aunque se compone únicamente de dos tubos, es capaz de hacer circular la sangre. Tanto el corazón como los vasos sanguíneos del embrión proceden de tejido angioblástico diferenciado a partir del mesodermo intraembrionario [Coalson y Tomasek, 2014; Cronenwett et al., 2000].

Cada miembro inferior, y superior, comienza como un esbozo de tejido, que se separa del tronco del embrión. Inicialmente este esbozo se nutre por un plexo capilar que se acaba uniendo para formar una única arteria conforme el miembro aumenta su tamaño [Webster y de Wreede, 2013; Cronenwett et al., 2000].

En el miembro inferior se desarrollan dos sistemas de aporte arterial [Senior, 1919]. Inicialmente se forma el *sistema axial o isquiático*. El tronco arterial primario (arteria axial o isquiática) del miembro inferior, procede de la raíz dorsal de la arteria umbilical, y discurre, siguiendo el curso posterior del nervio ciático, por la superficie dorsal del muslo dando lugar a la arteria ilíaca común y a la ilíaca interna, posteriormente continúa por la rodilla entre la tibia y el músculo poplíteo, y por la pierna entre la membrana interósea y el tibial posterior [Drake et al., 2011; Cronenwett et al., 2000].

A la sexta semana de gestación, el segundo sistema de la extremidad inferior, la *arteria ilíaca externa*, se desarrolla conformando la arteria femoral. La arteria femoral recorre la superficie ventral del muslo, y abre un nuevo camino hacia el miembro inferior. Este segundo sistema reemplaza al sistema isquiático, el cual

involuciona completamente en la parte superior del miembro. En el borde proximal del músculo poplíteo, la arteria axial emite una rama tibial posterior primitiva y una rama peronea primitiva, que discurren distalmente, por la superficie dorsal de este músculo y del tibial posterior, para llegar a la planta del pie. En el borde distal del poplíteo, la arteria axial emite una rama perforante que se dirige ventralmente entre la tibia y el peroné y discurre hacia abajo en busca del dorso del pie, formando la arteria tibial anterior y la arteria pedia; la arteria peronea primitiva establece una comunicación con la arteria axial en el borde distal del poplíteo y otra a lo largo de su recorrido por la pierna [Senior, 1919; Coalson y Tomasek, 2014]

Conforme va aumentando de tamaño la arteria femoral, va desapareciendo la arteria axial. En la pelvis, remanentes de la arteria axial forman la ilíaca interna y sus ramas glúteas; en la pierna, persisten algunos segmentos para, uniéndose al sistema femoral, formar partes de la arteria poplíteo y de la peronea definitivas. [Drake et al., 2011; Cronenwett et al., 2000]. (Fig. 1-1).

La sección distal de la arteria poplítea profunda, anterior al músculo poplíteo, regresa. La arteria poplítea superficial se forma posterior al músculo poplíteo y se une con la parte proximal de la arteria poplítea profunda para formar la arteria poplítea madura [Carlson, 2014; Moore et al., 2013; Cronenwett et al., 2000].

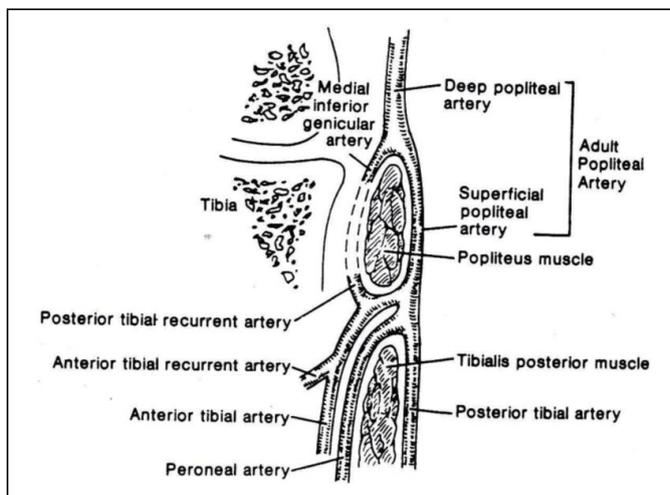


Fig. 1-2. Desarrollo embriológico de la arteria poplítea, modificado de Senior, 1919. La arteria poplítea profunda, anterior al músculo poplíteo, involuciona; mientras que la arteria poplítea superficial, posterior al músculo poplíteo, se convierte en la arteria poplítea madura. (Tomado de Cronenwett et al., 2000).

En los estadios finales, las partes proximales de las primitivas arterias tibial posterior y peronea se fusionan, pero sus partes distales permanecen separadas [Drake et al., 2011].

1.2. Recuerdo anatómico

1.2.1. Arteria poplítea

La arteria poplítea es la continuación de la arteria femoral superficial y atraviesa de arriba abajo la fosa poplítea. Se inicia en el orificio del adductor mayor, en la unión de los tercios medio y distal del muslo, a 8 cm aproximadamente por encima de la línea articular de la rodilla; extendiéndose hacia abajo y algo hacia fuera hasta alcanzar la fosa intercondílea del fémur. A partir de allí, se continúa oblicuamente hasta el borde inferior del músculo poplíteo, terminando en el anillo del sóleo, donde se divide en sus ramas terminales las arterias tibiales anterior y el tronco tibioperoneo [Tortora y Derrickson, 2013; Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

Relaciones

Por delante de la arteria y de arriba abajo se halla la grasa que cubre la superficie poplítea del fémur, la cápsula de la articulación de la rodilla y la fascia que cubre al músculo poplíteo. Por detrás, la arteria está cubierta proximalmente por el músculo semimembranoso y distalmente por los músculos gastrocnemio y plantar delgado. En la parte media de su curso, la arteria aparece separada de la piel y fascias por cierta cantidad de grasa, y es cruzada de fuera adentro por el nervio tibial y la vena poplítea. La vena se halla entre el nervio y la arteria, íntimamente adherida a esta última. En su parte externa, por arriba, se hallan el bíceps femoral, el nervio tibial y la vena poplítea, además del cóndilo externo del fémur; por abajo, el plantar delgado y la cabeza externa del músculo gastrocnemio. En su parte interna, por arriba se hallan el semimembranoso y el cóndilo interno del fémur, y por abajo el

nervio tibial, la vena poplítea y la cabeza interna del gastrocnemio [Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

Anatomía de superficie

La arteria poplítea se puede representar por una línea que va desde la unión de los tercios medio e inferior del muslo, a 2'5 cm por dentro de la línea media posterior del miembro, y que discurre hacia abajo y afuera hasta la línea media entre los cóndilos femorales. A partir de allí continúa oblicuamente hacia abajo y adentro hasta llegar al nivel de la tuberosidad anterior de la tibia [Drake et al., 2011].

Ramas

La arteria poplítea tiene ramas cutáneas, musculares y articulares para la rodilla, que alcanzan el espacio interóseo tibioperoneal [Tortora y Derrickson, 2013; Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

- Ramas cutáneas: se originan en la arteria poplítea o en alguna de sus ramas; descienden entre las dos cabezas del gastrocnemio y, perforando la fascia profunda, se distribuyen por la parte posterior de la pierna, irrigando la piel. Una rama suele acompañar a la vena safena externa.
- Ramas musculares superiores: son dos o tres, nacen de la parte superior de la arteria y se distribuyen por el aductor mayor y músculos posteriores del muslo, anastomosándose con la porción terminal de la femoral profunda.
- Arterias gemelas (surales): son dos, interna y externa, nacen por detrás de la articulación de la rodilla e irrigan al gastrocnemio, sóleo y plantar delgado.

- Arterias articulares superiores: son dos y se originan una a cada lado de la poplítea; rodean al fémur inmediatamente por encima de sus cóndilos hasta alcanzar la parte anterior de la articulación de la rodilla.
 - o La arteria articular superointerna se dirige bajo el semimembranoso y semitendinoso, por encima de la cabeza interna del gastrocnemio, y pasa profunda al tendón del adductor mayor. Se divide en dos ramas, una de las cuales irriga al vasto interno y se anastomosa con la anastomótica magna y con la articular inferointerna; la otra se ramifica por la superficie del fémur, y se anastomosa con la articular superoexterna.
 - o La arteria articular superoexterna pasa bajo el tendón del bíceps crural y se divide en una rama superficial y otra profunda; la rama superficial irriga al vasto externo y se anastomosa con la rama descendente de la circunfleja femoral externa y con la articular inferoexterna. La rama profunda se anastomosa con la articular superointerna y forma un arco con la anastomótica magna por delante del fémur.
- Arteria articular media: es una pequeña rama que se origina en la cara posterior de la articulación de la rodilla. Perfora el ligamento poplíteo oblicuo e irriga a los ligamentos cruzados y a la membrana sinovial de alrededor de la articulación de la rodilla.
- Arterias articulares inferiores: nacen de la arteria poplítea por debajo del gastrocnemio.
 - o La arteria articular inferointerna discurre profunda a la cabeza interna del gastrocnemio y desciende a lo largo del borde superior del poplíteo, al que

irriga. Pasa entonces por debajo del cóndilo interno de la tibia y bajo el ligamento lateral interno de la rodilla; a nivel del borde anterior de este ligamento asciende hasta la parte anterior e interna de la articulación, irrigándola lo mismo que a la parte superior de la tibia, y anastomosándose con las arterias articulares inferoexterna y superointerna. Se anastomosa asimismo con la recurrente tibial anterior y con la rama safena de la anastomótica magna.

- La arteria articular inferoexterna discurre hacia fuera cruzando el poplíteo, para ir luego hacia delante, por encima de la cabeza del peroné, hasta la parte anterior de la articulación de la rodilla, pasando bajo la cabeza externa del gastrocnemio, ligamento lateral externo de la rodilla y tendón del bíceps crural. Se divide en ramas que se anastomosan con las arterias articulares inferointerna y superoexterna, con las tibiales anterior y posterior y con la circunfleja peronea.

1.2.2. Arteria tibial anterior

Es una rama terminal de la arteria poplítea que se inicia en el borde inferior del músculo poplíteo. Discurre al principio por la parte posterior de la pierna, pasando hacia delante, entre las dos porciones del tibial posterior, y a través de la parte superior de la membrana interósea llega a la cara anterior de la pierna, por dentro del cuello del peroné. Después desciende sobre la cara anterior de la membrana interósea aproximándose gradualmente a la tibia; en la parte inferior de la pierna descansa sobre este hueso y se hace anterior a la articulación del tobillo, pasando

entre ambos maléolos. Se continúa por el dorso del pie con el nombre de arteria pedía [Tortora y Derrickson, 2013; Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

Relaciones

En sus dos tercios superiores, la arteria tibial anterior se sitúa sobre la membrana interósea; en el tercio inferior descansa sobre la parte anterior de la tibia y articulación del tobillo. En el tercio superior de su trayecto se sitúa entre el tibial anterior y el extensor largo de los dedos y en el tercio medio entre el tibial anterior y el extensor largo del primer dedo. En el tobillo es cruzada, de fuera adentro por el tendón del extensor largo del primer dedo, situándose entre este y el primer tendón del extensor largo de los dedos. Está cubierta en sus dos tercios proximales por los músculos que tiene a ambos lados, así como por la fascia profunda. En el tercio inferior está cubierta por la piel, fascia y ligamento anular anterior del tarso [Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

A cada lado de la arteria se encuentran las venas satélites. El nervio peroneo profundo rodea la parte externa del cuello del peroné y se relaciona con la parte externa de la arteria después de haber alcanzado la región anterior de la pierna. Aproximadamente en la mitad de esta, el nervio se hace anterior a la arteria; en la parte inferior suele encontrarse apoyado sobre su parte externa [Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

Anatomía de superficie

En la proyección superficial, la arteria tibial anterior da comienzo 2'5 cm. por debajo de la parte interna de la cabeza del peroné, y termina en un punto medio entre los

maléolos tibiales. Su pulso puede notarse por fuera del tendón del extensor largo del primer dedo a la altura del tobillo [Drake et al., 2011].

Ramas

Durante su trayecto por la pierna, la tibial anterior emite sucesivamente varias ramas [Tortora y Derrickson, 2013; Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

- Arteria recurrente tibial posterior: de aparición inconstante, es proporcionada por la tibial anterior antes de alcanzar la parte anterior de la pierna. Ascende por delante del poplíteo junto con el nervio de este músculo, se anastomosa con las ramas articulares inferiores de la poplíteea e irriga la articulación tibioperonea superior.
- Arteria recurrente tibial anterior: nace tan pronto como la tibial anterior alcanza la parte anterior de la pierna. Ascende por el músculo tibial anterior, se ramifica por delante y a los lados de la articulación de la rodilla y se une con la red anastomótica rotuliana, anastomosándose con las ramas articulares de la poplíteea y con la circunfleja peronea.
- Ramas musculares: son numerosas y se distribuyen por los músculos que se hallan a uno y otro lado del vaso. Algunas perforan la fascia profunda para irrigar la piel; otras pasan a través de la membrana interósea y se anastomosan con ramas de las arterias tibial posterior y peronea.
- Arteria maleolar anterointerna: se origina a unos 5 cm. por encima de la articulación del tobillo. Pasa por detrás de los tendones del extensor largo del

primer dedo y tibial anterior en el lado interno del tobillo, donde se anastomosa con ramas de la arteria tibial posterior y plantar interna.

- Arteria maleolar anteroexterna: pasa por debajo de los tendones del extensor largo de los dedos y peroneo anterior, irriga la parte externa del tobillo y se anastomosa con la rama perforante de la arteria peronea y con ramificaciones ascendentes procedentes de la arteria dorsal del tarso.
- Arterias que rodean la articulación del tobillo: se anastomosan libremente entre ellas y constituyen redes por debajo de los correspondientes maléolos. La red maleolar interna está formada por la rama anterointerna de la tibial anterior, las ramas tarsianas internas de la pedia, las ramas maleolar y calcánea de la tibial posterior y ramas de la arteria plantar interna. La red maleolar externa está formada por la rama maleolar anteroexterna de la tibial anterior, la rama dorsal del tarso de la pedia, las ramas perforante y calcáneas de la peronea y ramificaciones de la arteria plantar externa.

La arteria pedia, también llamada dorsal del pie, es la continuación de la tibial anterior por debajo del tobillo una vez ha pasado el ligamento anular. Sigue el borde tibial del dorso del pie hasta alcanzar el extremo proximal del primer espacio intermetatarsiano, desde donde se dirige hacia la planta del pie entre las dos porciones del primer músculo interóseo dorsal para completar el arco plantar.

1.2.3. Arteria tibial posterior

Se origina en el borde distal del músculo poplíteo, entre tibia y peroné, y desciende por la parte posterior de la pierna dirigiéndose hacia dentro. En la parte inferior de su trayecto está situada en la parte media, entre el maléolo interno y la tuberosidad interna del calcáneo. Pasa por debajo del origen del abductor del primer dedo y se divide en las arterias plantares interna y externa [Tortora y Derrickson, 2013; Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

Relaciones

Se sitúa sucesivamente tras el tibial posterior, flexor largo de los dedos, la tibia y la articulación del tobillo. Su parte superior está cubierta por el gastrocnemio y el sóleo, así como por la fascia transversal profunda de la pierna. Su parte inferior está recubierta sólo por la piel y la fascia. Discurre paralela y a unos 2'5 cm. por delante del borde interno del tendón de Aquiles; su parte terminal se sitúa profundamente con respecto al ligamento anular interno y al abductor del primer dedo. Va acompañada por dos venas y por el nervio tibial, que en un principio es interno a ella pero en seguida la cruza por detrás para ser, en mayor parte de su curso, externo a la misma [Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

Anatomía de superficie

La tibial posterior discurre desde la línea media de la pantorrilla, a nivel del cuello peroneal, hasta el punto medio entre el maléolo interno y la prominencia del talón, lugar donde se pueden notar sus pulsaciones [Drake et al., 2011].

Ramas

La arteria tibial posterior presenta las siguientes ramas [Tortora y Derrickson, 2013; Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

- Arteria circunfleja peronea: es en ocasiones rama de la tibial anterior. Se dirige hacia fuera rodeando el cuello del peroné y atravesando el sóleo, para anastomosarse en la rodilla con la articular inferoexterna.
- Arteria peronea.
- Arteria nutricia de la tibia: nace de la tibial posterior, cerca de su origen; tras proporcionar unas pocas y diminutas ramas musculares, desciende hacia el canal nutricio del hueso, inmediatamente por debajo de la línea del sóleo. Es una de las mayores arterias nutricias que hay en el organismo.
- Ramas musculares: se distribuyen por el sóleo y musculatura profunda de la parte posterior de la pierna.
- Rama comunicante: discurre transversalmente cruzando la parte posterior de la tibia a unos 5 cm. de su extremo inferior, profunda al flexor largo del primer dedo, y se une a la rama del mismo nombre de la peronea.
- Ramas maleolares internas: rodean el maléolo tibial para alcanzar la red maleolar interna.
- Ramas calcáneas: nacen de la tibial posterior inmediatamente antes de que se divida; perforan el ligamento anular interno para irrigar el tejido graso y la piel de detrás del tendón de Aquiles y del talón, así como los músculos del lado

interno de la planta del pie. Se anastomosan con las arterias maleolares internas y con las ramas calcáneas de las arterias peroneas.

- Arterias plantares: en el canal interno del calcáneo, la arteria tibial posterior se bifurca en sus dos ramas terminales, las arterias plantares interna y externa, que como su nombre indica se distribuyen por la planta del pie.

1.2.4. Arteria peronea

Nace de la tibial posterior a unos 2'5 cm. por debajo del borde inferior del poplíteo; se dirige oblicuamente hacia el peroné y desciende por su parte interna en el interior de un canal fibroso entre el tibial posterior y el flexor largo del primer dedo, o incluida en este último. Llega así hasta la articulación tibioperonea inferior, y a ese nivel se divide en varias ramas calcáneas que se ramifican por las superficies externa y posterior del calcáneo [Tortora y Derrickson, 2013; Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

Relaciones

Su parte superior se halla cubierta por el sóleo y la fascia transversa profunda, discurriendo entre esta y los músculos profundos; su parte inferior queda bajo el flexor largo del primer dedo [Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

Ramas

Las ramas suministradas por la arteria peronea son las siguientes [Tortora y Derrickson, 2013; Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

- Ramas musculares: irrigan al sóleo, tibial posterior, flexor largo del primer dedo y peroneos.
- Rama nutricia del peroné.
- Rama perforante: atraviesa la membrana interósea unos 5 cm. por encima del maléolo externo para alcanzar la parte anterior de la pierna, donde se anastomosa con la arteria maleolar anteroexterna. Desciende entonces por delante de la articulación tibioperonea inferior, irriga al tarso y se une a la arteria dorsal del tarso. Esta rama perforante está engrosada en ocasiones, pudiendo en esos casos sustituir a la pedia.
- Rama comunicante: conecta a la peroneal con la rama comunicante de la tibial posterior aproximadamente 5 cm. por encima del extremo inferior de la tibia.
- Ramas calcáneas: también llamadas terminales. Se comunican con la maleolar anteroexterna por la parte externa del talón, y con las ramas calcáneas de la tibial posterior por detrás de él.

1.3. Las variaciones de la arteria poplítea y sus ramas terminales

Arteria poplítea

Ocasionalmente, la arteria se divide en sus ramas terminales por encima del nivel del músculo poplíteo, siendo entonces la arteria tibial anterior, anterior a dicho músculo; o más raramente por debajo, y la arteria poplítea entonces se prolonga a

la región tibial posterior [Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996; Bergman et al.,1988].

Algunas veces la arteria se divide únicamente en las arterias tibial anterior y peronea, siendo entonces la tibial posterior rudimentaria. En otros casos se divide en tres ramas, las tibiales anterior y posterior y la peronea. También puede dividirse en la tibial posterior y un tronco común para la tibial anterior y peronea [Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996; Bergman et al.,1988].

En ocasiones es continuación de una arteria isquiática aumentada de tamaño, en lugar de serlo de la femoral superficial [Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

Arteria tibial anterior

El vaso puede estar aumentado de calibre, ser rudimentario o incluso puede faltar; en este caso suele ser sustituido por ramas perforantes de la tibial posterior o de la peronea [Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996; Bergman et al.,1988]. Puede terminar en el límite más bajo de la pierna y no continuarse con la arteria pedia, que en estos casos nace desde ramas de la peronea [Testut y Latarjet, 1996; Bergman et al.,1988]. Así mismo, una arteria tibial anterior aumentada de tamaño puede irrigar tanto el dorso del pie como el arco plantar [Testut y Latarjet, 1996; Bergman et al.,1988].

En los casos de origen alto, la arteria tibial anterior puede transcurrir profunda al músculo poplíteo o entre este músculo y el ligamento poplíteo oblicuo. En estos casos da ramas que normalmente se originan de la poplíteo y la peronea [Testut y Latarjet, 1996; Bergman et al.,1988]. En ciertos casos de bifurcación anormal de la

arteria poplítea, la tibial anterior nace de un tronco tibioperoneo anterior, que da también la arteria peronea [Testut y Latarjet, 1996].

Arteria tibial posterior

La arteria tibial posterior puede estar ausente, ser rudimentaria o ser reemplazada por la arteria peronea. [Testut y Latarjet, 1996; Bergman et al.,1988]

Puede ser más larga de lo habitual cuando el tronco tibioperoneo falta y la arteria poplítea termina bifurcándose en el anillo del sóleo; o cuando la tibial posterior nace directamente de la poplítea y el tronco tibioperoneo da origen a la tibial anterior y a la peronea [Testut y Latarjet, 1996].

Puede ser más corta de lo habitual cuando la bifurcación del tronco tibioperoneo, anormalmente largo, se efectúa en la pierna [Testut y Latarjet, 1996].

En ocasiones atraviesa la membrana interósea para unirse a la tibial anterior; o puede dirigirse hacia delante y reemplazar la tibial anterior, en estos casos la peronea origina las plantares medial y lateral [Bergman et al., 1996].

Arteria peronea

La arteria peronea puede desprenderse de la tibial posterior a niveles más altos de lo normal, o incluso nacer directamente de la poplítea. En algunas ocasiones se inicia muy baja, hasta 7 u 8 cm. por debajo del borde inferior del poplíteo [Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996, Bergman et al.,1988]. Puede nacer igualmente de un tronco que le es común con la tibial anterior, el tronco tibioperoneo anterior [Testut y Latarjet, 1996].

Se encuentra más frecuentemente aumentada de tamaño en los casos de ausencia o de regresión de una de las dos arterias tibiales [Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996]; puede unirse a la tibial posterior y reforzarla o bien tomar su lugar, en los casos de una peronea gruesa, en la parte baja de la pierna y en el pie [Drake et al., 2011; Testut y Latarjet, 1996].

1.4. La tomografía computerizada en el estudio de las variantes anatómicas de la arteria poplítea

El estudio de la patología arterial periférica de miembros inferiores se ha basado durante tiempo en la exploración clínica y la ecografía Doppler, pero la planificación del tratamiento, quirúrgico o endovascular, se ha realizado con la angiografía por sustracción digital (DSA), que sigue siendo la técnica de referencia [Waugh y Sacharias, 1992]. Aunque esta técnica tiene varios inconvenientes, como los cuidados postprocedimiento, la tasa de complicaciones y el elevado coste, proporciona un mapa vascular fácil de interpretar, que no se consigue con la ecografía Doppler [De Vries et al., 2006].

El gran avance tecnológico experimentado en los últimos años por la tomografía computerizada (TC) y el desarrollo de equipos multidetectores (TCMD), permiten nuevas modalidades diagnósticas. La angiografía por tomografía computerizada (angio-TC), se ha impuesto como una técnica para la evaluación de la patología vascular, de manera que está indicada en la práctica totalidad de los estudios

diagnósticos vasculares, y ha desplazado a la angiografía convencional con catéter a los procedimientos terapéuticos [Hiatt, 2005].

El uso de la angio-TC para la evaluación de las arterias de los miembros inferiores se está ampliando cada vez más debido a la calidad de las imágenes con los nuevos equipos y a su carácter no invasivo, ya permite evaluar el árbol vascular periférico sin necesidad de efectuar una arteriografía [Fleischmann et al., 2006]. Su principal inconveniente sigue siendo el uso de radiaciones ionizantes y de contraste yodado, con sus posibles complicaciones, como reacciones alérgicas e insuficiencia renal [Leonardi, 2000].

La mayor velocidad de los equipos de última generación, especialmente los de 64 detectores, posibilita la cobertura de amplias regiones anatómicas, lo que reduce los tiempos de apnea, pudiéndose incluir en una única adquisición la aorta tóraco-abdominal y los miembros inferiores hasta los pies. Al disminuir el tiempo de adquisición se pueden reducir el volumen total de contraste administrado y la nefrotoxicidad secundaria [Rubinet al., 2001]. En comparación con la angiografía convencional, la angio-TC es menos invasiva, más barata y expone al paciente a menos dosis de radiación y de contraste yodado [Willman et al., 2005].

Aunque la tomografía computerizada no se ha utilizado sistemáticamente para el estudio de las variaciones anatómicas en miembros inferiores, diversos trabajos han demostrado la fiabilidad de la angio-TC en el estudio de la enfermedad vascular periférica. De ellos se puede concluir que la angio-TC tiene una sensibilidad (88-99%) y especificidad (96-99%) altas sobre todo en cuando se refiere a estenosis graves y a la obstrucción, con una elevada concordancia de

resultados con la arteriografía [Martin et al., 2003; Ofer et al., 2003; Catalano et al., 2004; Romano et al., 2004; Ota et al., 2004].

La posibilidad de disponer de los planos transversales junto a las reconstrucciones para la valoración de los vasos confiere a la angio-TC una ventaja sobre la angiografía convencional, ya que la luz, aunque sea excéntrica, se puede delimitar más fácilmente [Ota et al., 2004]. Las calcificaciones extensas y la tortuosidad de los vasos pueden provocar dificultades en la valoración de la patología estenótica.

1.5. La angiografía mediante tomografía computerizada: Angio-TC

La tomografía computerizada con contraste intravenoso es una prueba de diagnóstico por imagen mínimamente invasiva, muy utilizada en multitud de patologías, y que permite un estudio anatómico vascular en el paciente vivo [Fleischmann et al., 2006]. El uso de reconstrucciones multiplanares y en tres dimensiones proporciona un detalle comparable al del estudio del cadáver.

Los puntos clave para realizar una angio-TC de calidad son:

1. Adecuado realce arterial durante la adquisición.
2. Cobertura completa en el eje cráneo-caudal de la región que se desea estudiar.
3. Coincidencia del máximo realce vascular con el tiempo de adquisición.

Por tanto, los tres componentes que deben tenerse en cuenta para la realización de una angio-TC son los parámetros de adquisición, el medio de contraste y el tiempo de circulación del contraste [Foley y Karcaaltincaba, 2003].

1.5.1. Aspectos técnicos de la tomografía computerizada multidetectores (TCMD) que inciden en el estudio de la patología vascular

El incremento en la velocidad de adquisición con los equipos helicoidales se ha conseguido gracias al aumento de la velocidad de giro del tubo de rayos X (hasta 0,33- 0,4 s) y al incremento del número de detectores del gantry (4, 8, 16, 64), consiguiendo aumentar el número de cortes por segundo (hasta 160/s) y reducir el tiempo total de adquisición del estudio. El grosor mínimo del corte está determinado por el tamaño de los detectores o coronas, que en las TCMD de 4 y 8 coronas es de 1- 1,25 mm. y en las de 16 y 64 coronas de 0,5-0,625 mm. Los detectores pueden agruparse de diferentes formas para obtener distintos grosores de corte.

En las TC de 64 cortes se ha ensanchado la bandeja de detectores al aumentar el número de coronas en paralelo para obtener hasta 64 cortes por rotación con una cobertura máxima de 32-40 mm. Esta arquitectura de los detectores implica que en los estudios vasculares con mucha cobertura en el eje cráneo-caudal el grosor de corte va a ser siempre el de los detectores (si es 0,5 mm, el máximo grosor será de 1 mm y el mínimo de 0,5 mm). La disminución del espesor de corte permite obtener vóxeles isotrópicos (de igual tamaño en los tres ejes espaciales) para incrementar la calidad de la imagen en el eje Z (cráneo-caudal). Sin embargo, en los protocolos de estudios vasculares sigue siendo necesario solapar los cortes (distancia entre

cortes menor que el grosor de corte) con el fin de mejorar la calidad de las reconstrucciones en el trabajo de postprocesado [Flohr y Ohnesorge, 2001].

Para procesar y manipular toda la información generada, que puede llegar a más de 3.000 imágenes en un estudio vascular toracoabdominal y de los miembros inferiores (cortes de 0,5 mm. de grosor), se necesitan potentes estaciones de trabajo y puede darse el caso de que la limitación de la cobertura máxima no esté condicionada por el equipo, sino por la dificultad de las consolas de trabajo para poder manipular tantas imágenes generadas.

Los parámetros que van a determinar la duración de la adquisición son:

- Distancia de cobertura en el eje cráneo-caudal (a mayor distancia, mayor duración).
- Grosor de adquisición (a menor grosor, mayor duración).
- Anchura del colimador (a menor anchura, mayor duración).
- Velocidad de la mesa (a menor velocidad, mayor duración).
- Velocidad de giro del tubo (a menor velocidad, mayor duración).

1.5.2. Contrastes, parámetros de inyección y tiempo de circulación

La mayor velocidad de las TCMD permite una amplia cobertura espacial con una sola apnea, que en los equipos de 64 detectores incluye la totalidad del cuerpo y los miembros inferiores hasta los pies. Al disminuir el tiempo de adquisición se puede reducir el volumen de contraste.

Los estudios de angio-TC se realizan siempre con contrastes yodados hidrosolubles. Se pueden clasificar de múltiples formas según los anillos de benceno, la ionización, la concentración de yodo y su osmolaridad comparada con el plasma. La última generación es la de los dímeros no iónicos isoosmolares, ya que presentan osmolaridad similar a la de la sangre [Jiménez Borreguero, 2006]. La osmolaridad, la toxicidad de la molécula y la carga eléctrica de los contrastes que se utilizan en estudios vasculares tienen efecto sobre el corazón, la circulación sistémica y el volumen sanguíneo, de manera que pueden producir alteraciones del ritmo cardíaco y de la contractilidad cardíaca; los isoosmolares son los más seguros [Ritchie, 1993].

La nefrotoxicidad se define como el aumento de la creatinina sérica en más del 25% en los tres días siguientes a la inyección intravenosa de un medio de contraste yodado. Se produce habitualmente en pacientes con factores de riesgo previos como deshidratación, insuficiencia cardíaca congestiva, nefropatía diabética con o sin proteinuria, edad avanzada, tratamientos con fármacos nefrotóxicos, etc. En estos pacientes con antecedentes de insuficiencia renal se recomiendan protocolos de protección renal, asegurándose una buena hidratación con suero fisiológico y, si es necesario, administrando N-acetilcisteína y contraste yodado con menor potencial nefrotóxico [Aspelin et al., 2003]. Por otra parte, se han comparado diferentes concentraciones de yodo para conseguir un mayor realce de la imagen angiográfica, mejorando la imagen con altas concentraciones (370 mg l/ml) sin incremento en las reacciones adversas [Setty et al., 2006].

Para la administración del contraste se suele utilizar una vena antecubital con calibre suficiente para un flujo entre 3 y 6 ml/s según el tipo de angio-TC que se

vaya a realizar. Suele ser suficiente canalizar la vena periférica con agujas de 18-20 G. Se reduce la viscosidad del contraste calentándolo a 37 °C.

Se considera que el realce adecuado de la aorta y de las arterias para la realización de angio-TC es de 250-300 unidades Hounsfield (UH). Para un realce vascular de 300 UH se necesita una concentración de yodo en la sangre circulante de 12 mg l/ml, ya que 1 mg l/ml produce un realce de 25 UH. Existe, por tanto, una relación lineal entre la concentración de yodo en la sangre circulante y el realce arterial [Bae et al, 1998]. Un volumen de 100 ml. de contraste yodado con una concentración de 300 mg l/ml, que equivale a 30 g. de yodo, mezclado en un volumen aproximado de 2,5 litros de sangre que hay en el compartimento vascular central produce una concentración de yodo arterial de 12 mg l/ml. A mayor concentración de yodo se conseguirá mayor grado de realce arterial. Por tanto, el grado de realce arterial es directamente proporcional al flujo de yodo que entra en el sistema circulatorio y puede ser modificado cambiando el flujo de inyección (ml l/s) o la concentración del contraste (mg l/ml). Así, al duplicar el flujo de inyección, prácticamente se duplica el realce vascular. Por otra parte, se puede conseguir el mismo incremento de inyección de yodo elevando el flujo de 4 a 6 ml/s con una concentración de 300 mg l/ml que aumentando la concentración a 400 mg l/ml con un flujo de 4,5 ml/s [Fleischmann, 2004]. Los principales inconvenientes de elevar el flujo de inyección de yodo son que aumenta el artefacto perivenoso en el tronco braquiocefálico y en la vena cava superior y, en algunos casos, el discomfort del paciente. En TCMD rápidas, con adquisiciones de corta duración y sobre todo en estudios con poca cobertura, como la angio-TC de las arterias coronarias, es necesario aumentar el flujo y la concentración del contraste para que la duración de

la inyección sea igual que la de la hélice de adquisición. Hay que administrar la misma cantidad de yodo en menos período de tiempo, por lo que es necesario aumentar el flujo; cuando no se puede administrar más flujo, debe aumentarse la concentración de yodo para reducir el volumen total necesario [Hiatt et al., 2005; Kang y Spain, 2005; Fleischmann et al., 2006].

Para que coincida el máximo realce arterial con el período de adquisición debemos conocer el tiempo de realce vascular, es decir, qué tiempo se tarda en conseguirse el máximo realce arterial desde la introducción del contraste en el sistema venoso.

Se pueden utilizar dos sistemas:

1. Realizar un test tras la inyección de una pequeña cantidad de contraste, habitualmente 15-20 ml, al mismo flujo con el que se va realizar la adquisición. Tras un retraso de 5-10 s desde la inyección del contraste se realizan imágenes seriadas en una misma localización (el cayado aórtico para estudiar la aorta torácica o en la aorta abdominal proximal para evaluar la aorta abdominal) cada 2-3 s. Se coloca un ROI (*Region Of Interest*) en el vaso que se va a estudiar y, mediante un programa informático del equipo, se obtiene una curva de realce. Esta curva consta de una porción ascendente o realce, un pico y una porción de descenso o lavado. El tiempo transcurrido desde el inicio de la inyección y el pico será el retardo que hay que aplicar desde la inyección del contraste hasta el inicio de la adquisición de la exploración definitiva.
2. Utilizar un sistema de inicio automático o semiautomático mediante bolus tracking. Detecta en tiempo real la llegada del bolo de contraste a la arteria mediante imágenes seriadas de baja dosis en una misma localización. Puede hacerse de forma visual por el operador o mediante una curva de realce tras

fijar un ROI en el vaso que se va a estudiar. Cuando las UH que mide el ROI alcanzan la densidad prefijada comienza automáticamente la hélice. En los estudios de angio-TC se puede prefijar el valor entre 150 y 200 UH por encima de la densidad basal del vaso y, modificando este valor prefijado, variar el tiempo de inicio de la hélice. Si aumentamos este valor prefijado se tardará más en alcanzar la densidad elegida y, por tanto, retrasaremos el inicio de la hélice.

El realce arterial producido por la inyección prolongada de contraste yodado es la suma del realce inicial de la inyección más el realce por la recirculación del contraste, por lo que la inyección continua de contraste no produce un realce en meseta, sino una elevación progresiva del realce vascular. Sin embargo, el realce ideal sería una elevación rápida de la concentración de yodo en la sangre y una meseta hasta la finalización de la hélice [Foley y Stonely, 2010].

En la práctica, el grado de realce arterial tras la inyección de una misma cantidad de yodo es variable entre diferentes individuos. Los factores fisiológicos que influyen en este realce son:

- Volumen de eyección cardíaco. Es inversamente proporcional al grado de realce arterial. A mayor volumen de eyección por minuto, mayor dilución del contraste arterial.
- Volumen de sangre del compartimento central. También es inversamente proporcional al realce arterial, aunque afecta más al grado de realce visceral que al arterial. A mayor volumen, es decir, mayor peso, menor realce.

Algunos autores proponen la utilización de protocolos individualizados para cada paciente mediante la inyección bifásica del contraste, en una primera fase a flujos elevados y en la segunda fase a menor flujo para conseguir un realce arterial en meseta durante el tiempo de adquisición de la hélice y ajustar la dosis al peso del paciente [Fleischmann et al., 2000; Awai et al., 2004].

El lavado con suero salino inmediatamente después de la inyección del contraste yodado empuja y compacta la columna de contraste desde el sistema venoso hasta la circulación sistémica, permitiendo mantener el realce arterial de contraste y reducir la cantidad [Schoellnast et al., 2004]. Con esto se consigue que el contraste que quedaría en las venas del brazo pase al torrente arterial y reducir la cantidad total de contraste administrado, de forma que la inyección de 75 ml seguido de 20 ml de suero fisiológico proporciona el mismo realce que 100 ml de contraste yodado sin suero [Utsunomiya et al., 2006]. También permite “lavar” de contraste el tronco braquiocefálico y la vena cava superior y reducir el artefacto perivenoso en estudios del tórax [Cademartiri et al., 2002; Kubo et al., 2007]. Es especialmente útil en estudios coronarios porque evita los artefactos originados en la aurícula y el ventrículo derechos que pueden dificultar la valoración de la arteria coronaria derecha [Schoepf, 2005].

1.5.3. Valoración de la angio-TC en las estaciones de trabajo

Es imprescindible el postproceso de los estudios de angio-TC en las estaciones o consolas de trabajo. Éstas deben tener la suficiente capacidad para manejar el gran volumen de información obtenido. Las distintas modalidades de imagen son

complementarias entre sí y todas deben usarse para la interpretación completa del estudio.

- Imágenes axiales (Fig. 1-3):

Las imágenes axiales constituyen la base de la información y deben ser revisadas para obtener una idea inicial de todo el territorio vascular y para evaluar la posibilidad de patología no vascular.

Siguen siendo por tanto imágenes imprescindibles para la información inicial de los vasos y del resto de las estructuras anatómicas. Nos permiten valorar la presencia de calcificaciones, la composición de las placas de ateroma o la existencia de trombo mural, manguito periaórtico y colecciones o abscesos de vecindad.

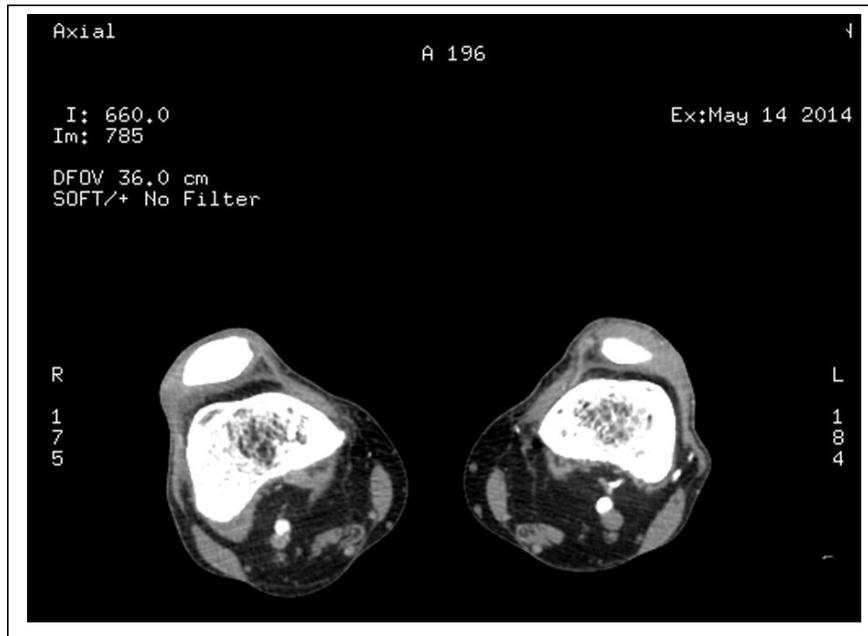


Fig. 1-3. Imagen axial de angio-TC a nivel de la arteria poplítea.

- Reconstrucciones multiplanares (MPR). (Fig. 1-4):

Las MPR, axial, sagital y coronal, oblicuas y las reconstrucciones curvadas permiten valorar mejor la luz de los vasos, las áreas de engrosamiento de la pared por ateromatosis o presencia de placas calcificadas y la luz de los stents. Ofrecen información de las lesiones a lo largo del vaso, de su entorno o de su composición e incluso permiten la cuantificación de las estenosis.

Las reconstrucciones curvadas «estiran» la totalidad de la línea media de un vaso en una imagen 2D y, como tienen el espesor de un vóxel, son útiles para analizar vasos individuales, de pequeño calibre, con calcificaciones, o infiltrados por tumores. La capacidad para visualizar el interior de vasos altamente calcificados o el interior de un stent es la principal ventaja de las reconstrucciones curvadas. Su principal inconveniente es su limitada capacidad de percepción anatómica y, si la reconstrucción no está centrada en el eje del vaso, puede producir falsas imágenes de estenosis u obstrucciones.

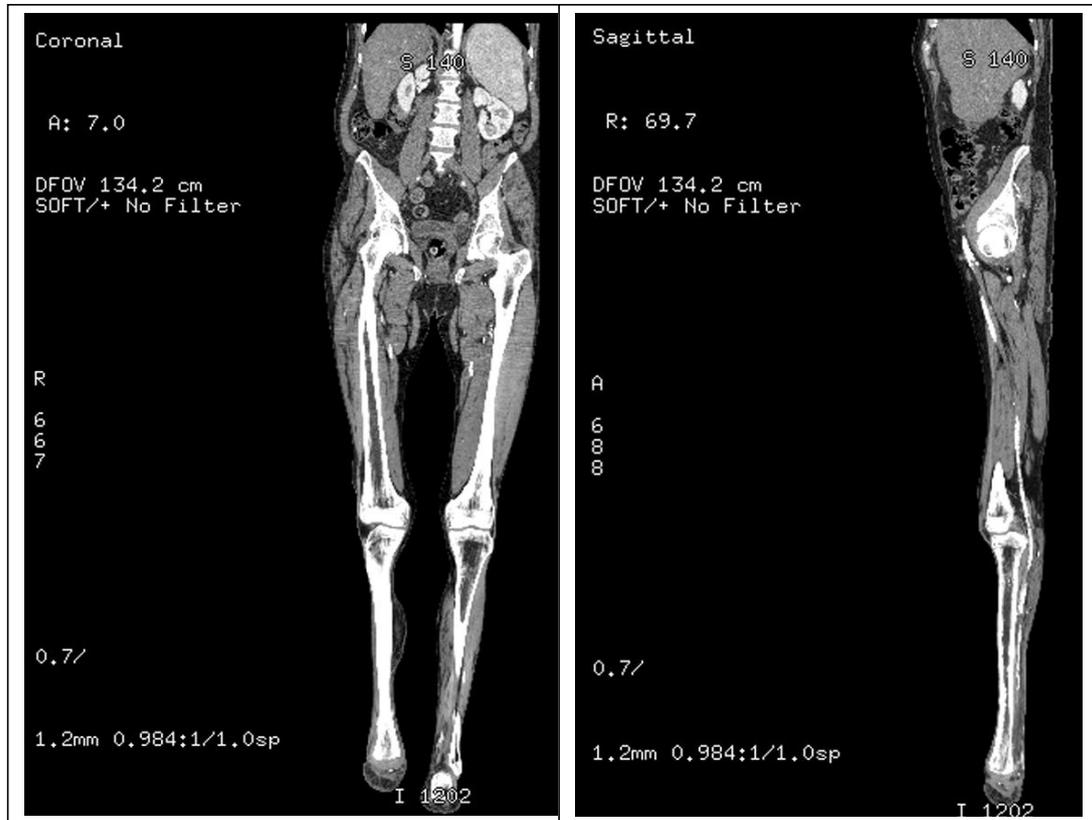


Fig. 1-4. Imágenes MPR, coronal (derecha) y sagital (izquierda) de angio-TC de miembros inferiores.

- Reconstrucciones 3D *Volume rendering* (3DVR). (Fig. 1-5):

Las reconstrucciones 3DVR permiten una aproximación rápida y de calidad sobre anatomía vascular, variantes anatómicas, vasos tortuosos, áreas de obstrucción y circulación colateral. Es de gran utilidad para los estudios periféricos por la presencia frecuente de obstrucciones completas y la presencia de circulación colateral. Permite múltiples ángulos de visualización sin necesidad de eliminar las estructuras óseas. Consiste en una reconstrucción de un volumen realzando sus superficies mediante color y efecto tridimensional, por lo que no permite valorar la luz interna de los vasos. Sus principales inconvenientes son que las arterias de pequeño calibre pueden no ser visualizadas y las estenosis graves pueden sobreestimarse y simular una obstrucción [Hiatt et al., 2005; Kang y Spain, 2005].

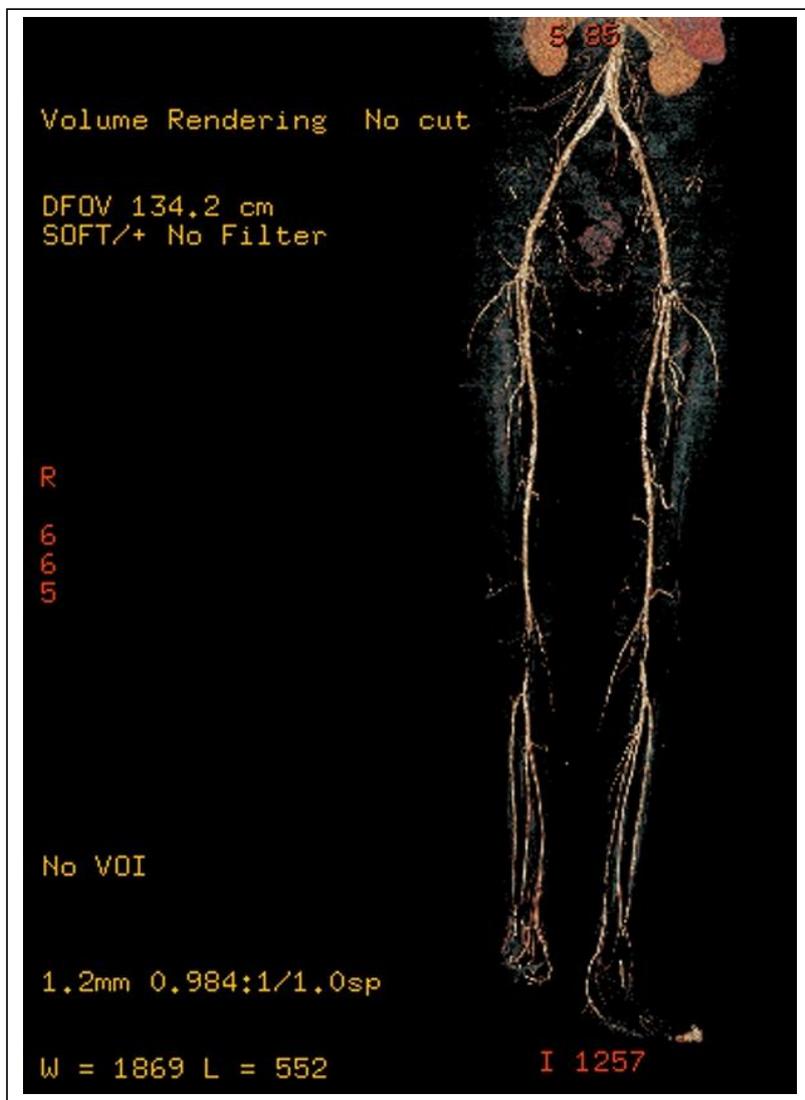


Fig. 1-5. Reconstrucción en 3 dimensiones – Volume Rendering (3DVR) de angio-TC de miembros inferiores (tras sustracción de las estructuras óseas).

- Proyección de máxima intensidad (MIP). (Fig. 1-6):

Las MIP son imágenes 2D producidas por el valor más alto del vóxel en un plano de un grosor variable o de la totalidad de un volumen. Son técnicas de sumación espacial de cortes consecutivos y se puede elegir el grosor del plano, representado en imágenes bidimensionales. Son las imágenes más parecidas a la arteriografía convencional. Las reconstrucciones MIP de un grosor relativamente bajo son especialmente útiles para la valoración de vasos pequeños. Tienen tres inconvenientes: 1. Si existe otro material de alta densidad en el plano estudiado, como hueso, calcio o stents, lo proyectará superponiéndolo a las estructuras vasculares y ocultando su anatomía. 2. Para obtener imágenes de calidad es necesario eliminar los huesos, que consumen mucho tiempo al radiólogo. 3. Al eliminar los huesos se puede provocar la eliminación inadvertida de un área vascular y simular una lesión.

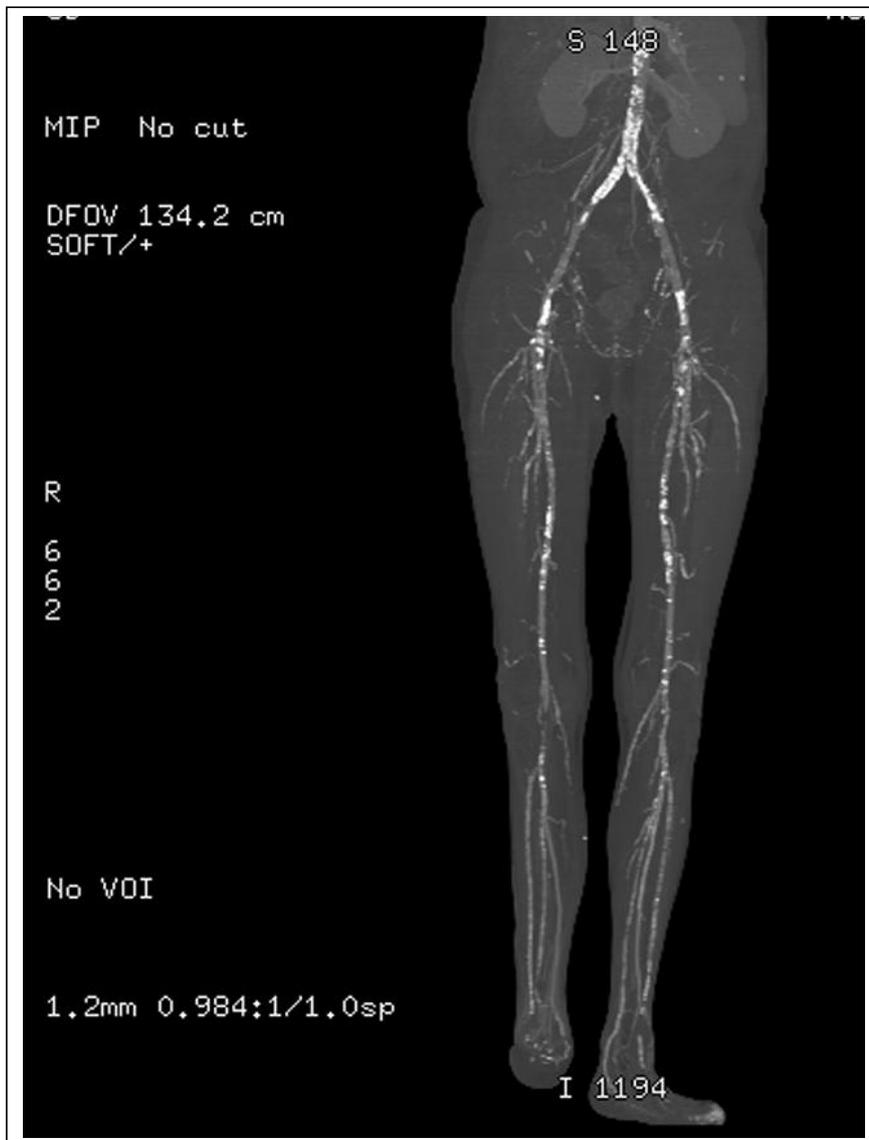


Fig. 1-6. Reconstrucción en Proyección de Máxima Intensidad (MIP) de angio-TC de miembros inferiores (tras sustracción de las estructuras óseas).

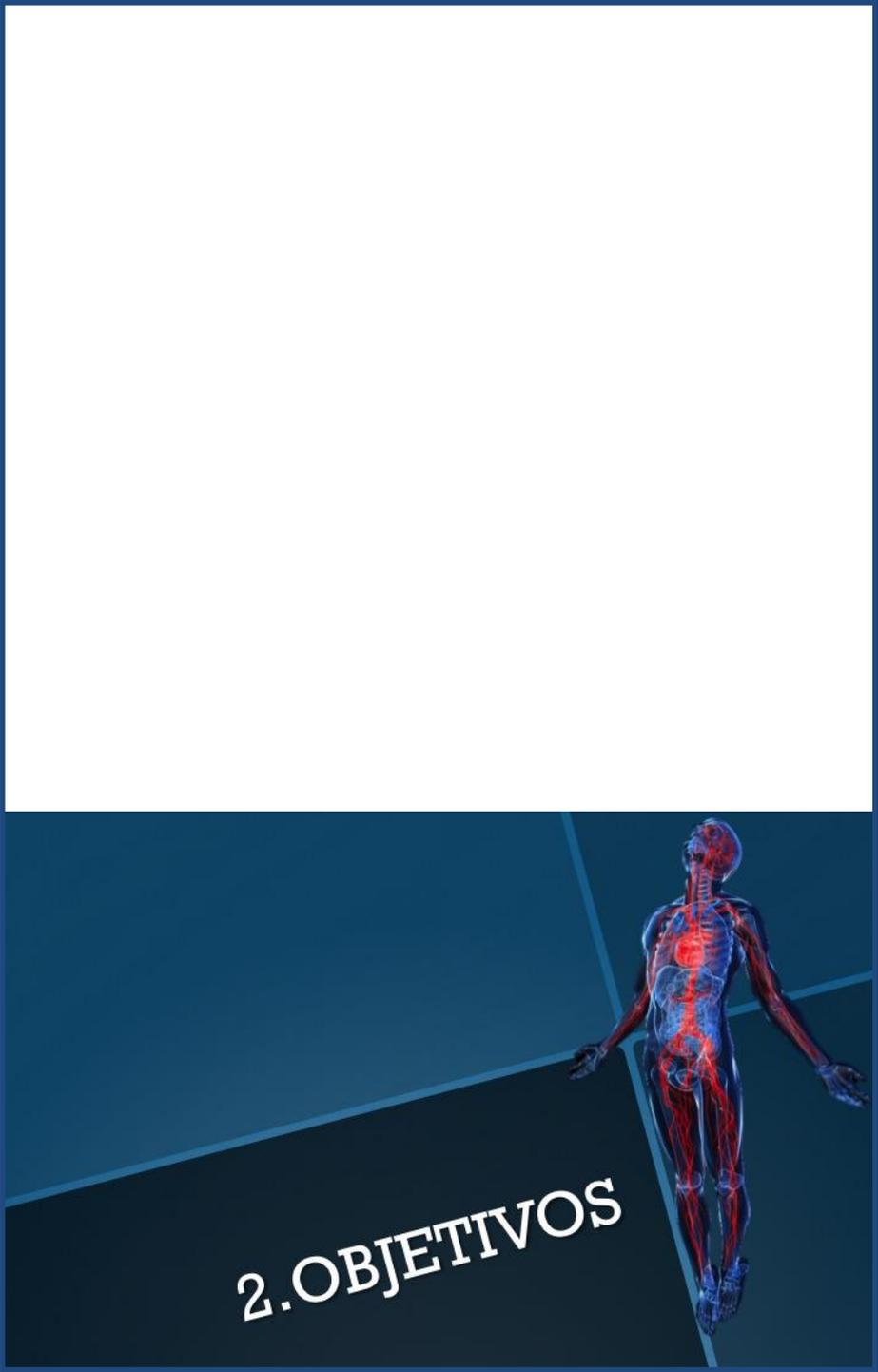
Limitaciones propias de la angio-TC son: el pobre realce vascular en pacientes obesos o si la producción de desajustes entre los tiempos de inyección de contraste y de adquisición de la hélice, el postproceso requiere mucho tiempo y atención, así como experiencia en la interpretación de los hallazgos, y la presencia de calcificación en la pared arterial puede dificultar la valoración de la luz vascular [Hiatt et al., 2005; Kang y Spain, 2005].

1.6. Razones e interés científico-médico del tema

El conocimiento de la anatomía de las arterias que irrigan el miembro inferior, y concretamente el pie, es fundamental para muchos procedimientos diagnósticos y terapéuticos; así pues, el conocimiento de las anomalías anatómicas vasculares congénitas, es obligado tanto en el diagnóstico radiológico como en las intervenciones quirúrgicas.

La región poplítea es conocida por su amplio rango de anomalías vasculares, y sólo un conocimiento preciso conducirá a un diagnóstico adecuado en la patología arterial para llevar a cabo un procedimiento quirúrgico exitoso, como en la reconstrucción arterial quirúrgica, la angioplastia transluminal percutánea o la embolectomía; así como en tratamientos no propiamente vasculares, tales como la cirugía reparadora de rodilla, o los trasplantes con colgajo musculo-cutáneos del peroné [Kim et al., 1989; Sanders y Alston, 1986; Mauro et al., 1988; Colborn et al., 1994, Cross et al., 2000; Tindall et al., 2006; Day y Orme, 2006; Szpinda, 2006; Vaquez et al., 2006; Jung et al., 2008]. Un diagnóstico incorrecto en estos patrones

puede conllevar una anastomosis arterial no exitosa tras una cirugía de by-pass
[Kim et al., 1989; Sanders y Alston, 1986; Kwarada et al., 2010].

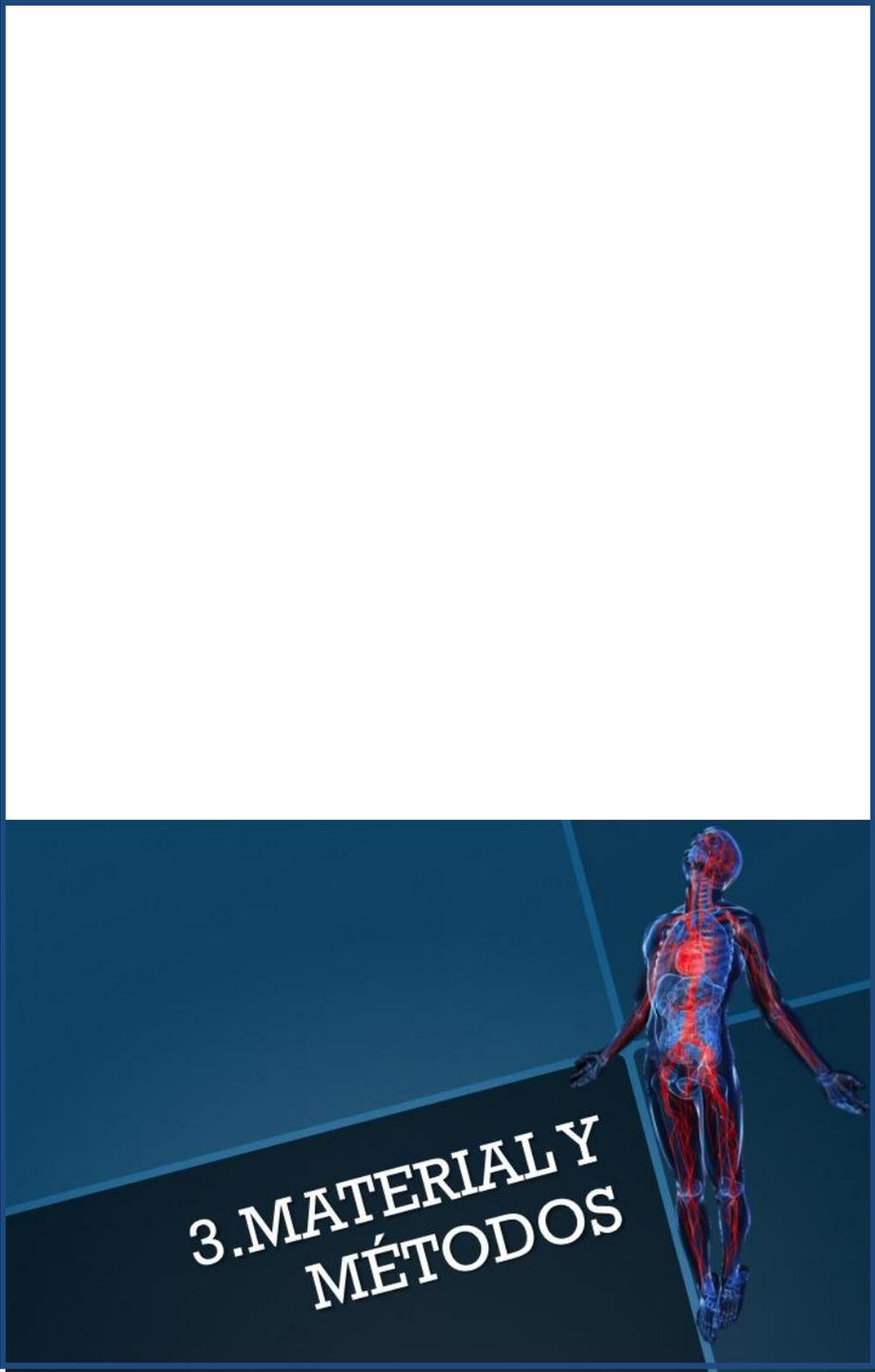


Los objetivos concretos que se pretenden alcanzar en el presente trabajo de Tesis Doctoral son:

En primer lugar, proporcionar una descripción de la anatomía normal y las variantes anatómicas de la arteria poplítea y sus principales ramas, la arteria tibial anterior, el tronco tibioperoneo, la arteria tibial posterior y la arteria peronea con fines didácticos y de aplicación clínica, en pacientes vivos y usando el angio-TC como técnica de imagen.

En segundo término, analizar los patrones de ramificación de la arteria poplítea y realizar una clasificación según los resultados obtenidos mediante esta técnica de imagen, comparándolos con los de la bibliografía (estudios angiográficos y sobre cadáveres).

En último lugar, identificar nuevos patrones de variantes anatómicas de la arteria poplítea y sus principales ramas mediante el estudio seriado en una larga muestra poblacional.



3.1. Sujetos estudiados

Fueron objeto de inclusión en el estudio ochocientos cincuenta y dos pacientes de ambos sexos, 703 hombres y 149 mujeres; con una media de edad de 68'16 años, y un rango entre 18 y 99 años, a los que se les había realizado una angio-TC de miembros inferiores, durante cuatro años consecutivos, entre los meses de enero de 2008 y diciembre de 2012, en un periodo de recogida de datos entre enero y junio de 2013.

A partir de la historia clínica electrónica de los pacientes y de la solicitud de la prueba, en el sistema PANGEA de la intranet hospitalaria, se recogieron los siguientes datos clínicos: edad, sexo, nacionalidad, raza y patología que motivaba la solicitud de realización de la prueba de imagen.

Los diagnósticos clínicos de presunción en las solicitudes para la realización de la angio-TC de miembros inferiores fueron variadas, aunque podemos clasificarlas en 5 tipos:

1. Clínica de claudicación intermitente de miembros inferiores: 628 pacientes (73'7%). Quinientos veinticuatro hombres y ciento cuatro mujeres.
2. Patología vascular de otro tipo (disecación arterial, isquemia aguda de miembros inferiores, enfermedad aneurismática múltiple y embolización vascular): 204 pacientes (23'9%). Ciento sesenta y cuatro hombres y cuarenta mujeres.
3. Estudio previo o posterior a cirugía ortopédica o traumatológica: 10 pacientes (1,2%). Siete hombres y tres mujeres.

4. Traumatismo múltiple con afectación de miembros inferiores: 8 pacientes (0'9%). Seis hombres y dos mujeres.
5. Estudio oncológico: 2 pacientes (0'2%). Dos hombres.

El criterio de inclusión para entrar en el estudio puede resumirse en una técnica de adquisición de imagen correcta, es decir: paciente en decúbito prono, con una buena visualización de los vasos en toda su longitud, lo que requiere un realce suficiente de la porción más distal.

El único criterio de exclusión fue que el paciente tuviera antecedentes de una intervención vascular en el área de interés. Doce pacientes (1'4%) no entraron en el estudio porque ninguno de los 2 miembros inferiores cumplía estos criterios.

Finalmente, 1636 miembros inferiores de 840 pacientes (695 hombres y 145 mujeres; con una media de edad de 66'39 años, y un rango entre 18 y 97 años) fueron estudiados. En 44 pacientes un único miembro pudo estudiarse porque en el otro no se cumplían los criterios de inclusión (12 miembros inferiores) o porque al paciente se le había amputado uno de los miembros (32 pacientes). En 24 sólo pudo estudiarse el miembro izquierdo, y en 20 sólo pudo estudiarse el miembro derecho.

Previamente a la realización del estudio, el Comité Ético de Investigación Clínica (CEIC) del Hospital General Universitario de Valencia, así como el Comité de Ética de la *Universitat de València* dieron su aprobación. El trabajo ha sido realizado de acuerdo con la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial.

3.2. Metodología Angio-TC realizada

Las angiografías con tomografía computerizada (angio-TC) fueron realizadas en el equipo de TC ubicado en el Hospital General Universitario de Valencia, que cuenta con un *LightSpeed VCT scanner* (General Electric, Milwaukee, WI, USA) (Fig. 3-1).



Fig. 3-1. Escáner General Electric LightSpeed VCT.

Este escáner dispone de una cobertura de 40 mm por rotación, así como una prestación de 0'35 mm de resolución microVoxel™. El detector V-Res está configurado en 64 canales en el sistema VCT LightSpeed, que abarca 40 mm. de cobertura anatómica, el detector es una plataforma escalable, permitiendo una alta resolución ya que tiene la capacidad para adquirir 0'35 mm. microVoxel en una rotación de menos de 0'4 segundos, permitiendo un TC volumétrico de rutina.

El tubo Performix®-Pro, respaldado por un generador de 100 kW de gran alcance, proporciona 800 mA de potencia máxima, mientras gestiona la dosis del paciente. Este tubo y generador apoyan fácilmente un escáner de 64 canales con menos de 400 ms. de velocidad de rotación de rutina con una consistente calidad de imagen.

El protocolo estándar para el estudio angiográfico de los miembros inferiores, se realiza un escanograma ("scout") desde diafragma o cresta ilíaca hasta los pies, y se usa como *field of view (FOV)*, con el paciente en posición de decúbito supino y con los pies orientados hacia el tubo (Figs. 3-2 y 3-3).



Fig. 3-2. Posición del paciente antes de la adquisición de imágenes. Nótese la punción en la mano derecha, y el inyector de contraste a la izquierda de la imagen.

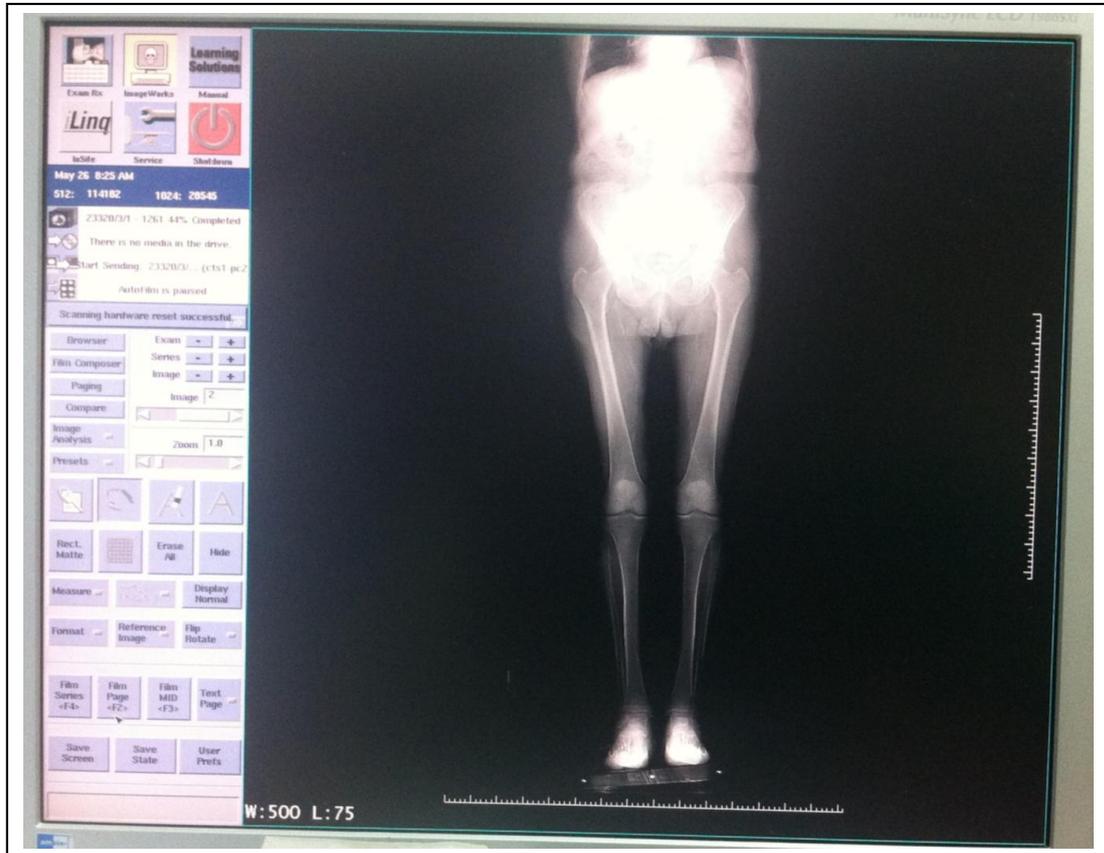


Fig. 3-3. Pantalla de control: Escanograma (scout) desde diafragma hasta los pies.

Durante el estudio, y tras la punción de una vena periférica (del dorso de la mano normalmente), se inyecta una dosis de 1'5 ml por Kg. de peso de contraste yodado no iónico (Iomeron 400, Bracco Imaging s.p.a., Milan, Italia), seguido de 30-50 ml de suero salino (esto último con el objetivo de empujar el contraste remanente en las venas). La inyección se realiza con el método *bolus-tracking*, con un inyector automático a un ratio de 5 ml/seg.

La región de interés (ROI) para la adquisición de las imágenes se posiciona en la aorta abdominal, previa a la bifurcación iliaca, y el umbral para la angio-TC se sitúa en 250-300 Unidades Hounsfield (HU) (Fig. 3-4). Cuando se sobrepasa el umbral, se inicia el escáner helicoidal. Los parámetros de adquisición son 100 kV, 160-500 mA, 0'8 segundos de tiempo de rotación y un espesor de hélice de 0'625 mm.



Fig. 3-4. Pantalla de control: ROI localizado en aorta abdominal. Umbral en más de 273 UH.

Las imágenes axiales de los estudios se transfieren a una estación de trabajo (Advantage Windows versión 4.5) para su análisis (Fig. 3-5).

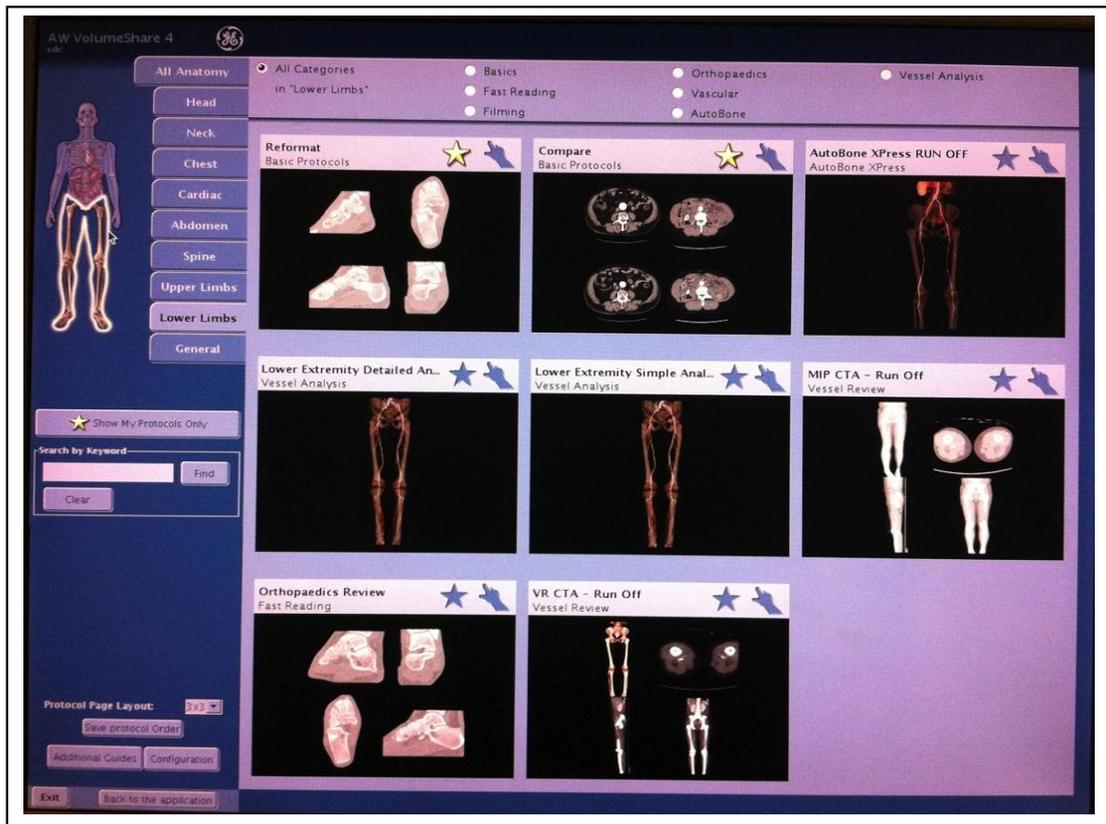


Fig. 3-5. Estación de trabajo Advantage Windows, mostrando los diferentes protocolos de reconstrucción de las imágenes.

Además de la fuente de datos de imágenes en axial, se obtienen imágenes de reconstrucciones multiplanares (MPR), proyecciones de máxima intensidad (MIP) y en tres dimensiones (3D-VR) (Fig. 3-6).

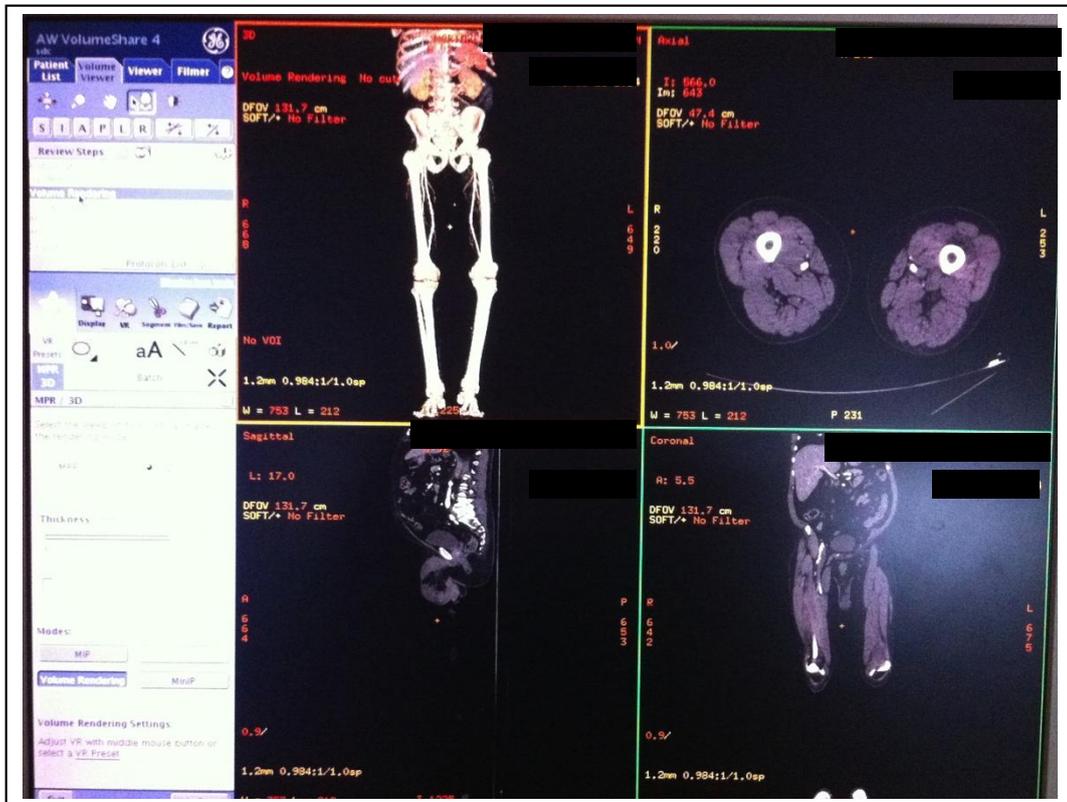


Fig. 3-6. Estación de trabajo Advantage Windows, mostrando el postprocesado automático de reconstrucción de imágenes.

Todo el conjunto de imágenes fue evaluado por un radiólogo y un anatomista, y la decisión se tomó por consenso. Se evaluaron las características anatómicas de las arterias poplíteas, los troncos tibioperoneos, las arterias tibiales anteriores, las arterias tibiales posteriores y las arterias peroneas; y las variantes anatómicas fueron registradas.

3.3. Clasificación de los patrones de ramificación vascular

Los patrones de ramificación vascular de la arteria poplítea fueron clasificados siguiendo la clasificación propuesta por Kim et al [Kim et al., 1989].

- *Categoría I.* Nivel normal de ramificación de la arteria poplítea (Fig. 3-7).
 - *Tipo I-A. Patrón habitual.* La arteria tibial anterior es la primera rama; continúa la arteria (tronco) tibioperonea, que se bifurca en las arterias tibial posterior y peronea.
 - *Tipo I-B. Trifurcación.* Las arterias tibial anterior, peronea y tibial posterior nacen en menos de 0'5 cm, no hay un verdadero tronco tibioperoneo.
 - *Tipo I-C: Tronco tibial anterior – peroneo:* la arteria tibial posterior es la primera rama; continúa el tronco tibioperoneo, que se bifurca en las arterias tibial anterior y peronea.

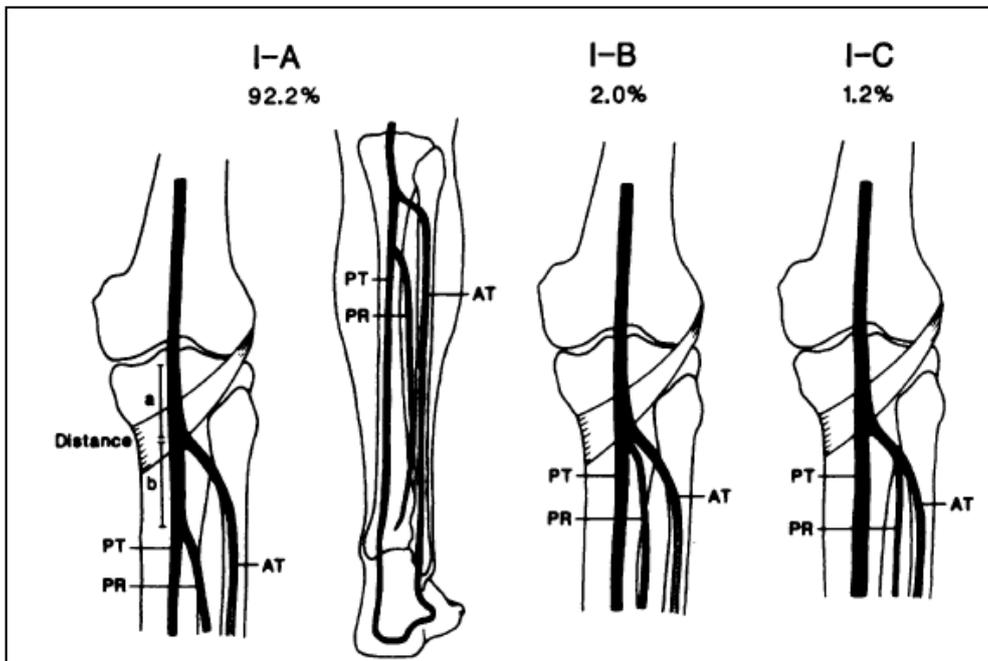


Fig. 3-7. Tipos IA, IB y IC. Tomado de Kim et al., 1989.

- *Categoría II. División alta de la arteria poplítea (Fig. 3-8).*
 - *Tipo II-A. La arteria tibial anterior nace a la altura o por encima de la articulación de la rodilla. Tronco tibioperoneo habitual.*
 - *II-A1. La arteria tibial anterior transcurre posterior al músculo poplíteo.*
 - *II-A2. La arteria tibial anterior transcurre anterior al músculo poplíteo.*
 - *Tipo II-B. La arteria tibial posterior nace a la altura o por encima de la articulación de la rodilla. Tronco común para arterias peronea y tibial anterior.*
 - *Tipo II-C. La arteria peronea nace a la altura o por encima de la articulación de la rodilla. Tronco común para arterias tibial anterior y tibial posterior.*

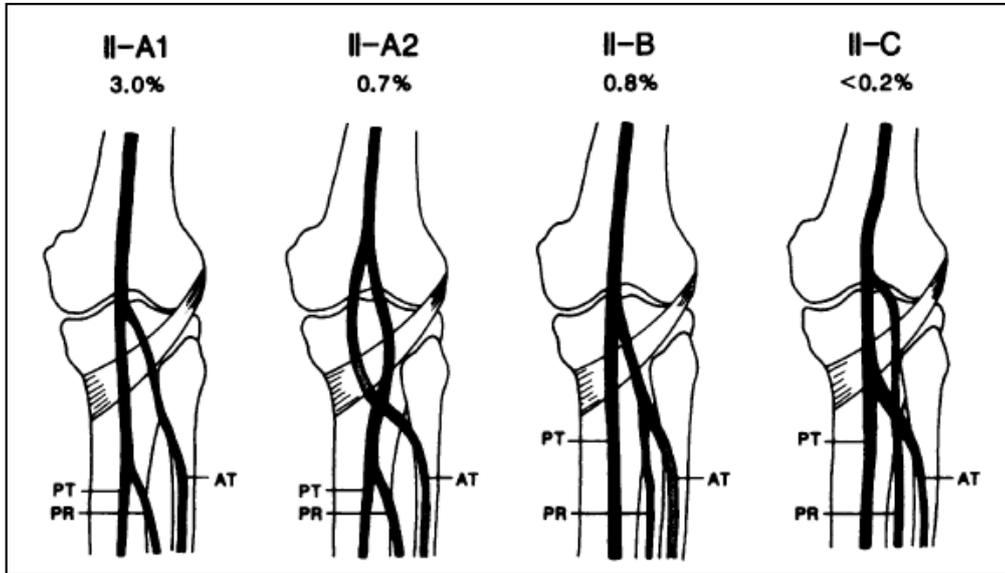


Fig. 3-8. Tipos IIA-1, IIA-2, IIB y IIC. Tomado de Kim et al., 1989.

- *Categoría III. Ramificación hipoplásica o aplásica con aporte distal alterado (Fig. 3-9).*
 - *Tipo III-A: Arteria tibial posterior hipoplásica/aplásica. Tibial posterior distal reemplazada por la arteria peronea.*
 - *Tipo III-B: Arteria tibial anterior hipoplásica/aplásica. Arteria pedia reemplazada por la arteria peronea.*
 - *Tipo III-C: Arterias tibial anterior y tibial posterior hipoplásicas/aplásicas. Tibial posterior distal y pedia reemplazadas por la arteria peronea.*

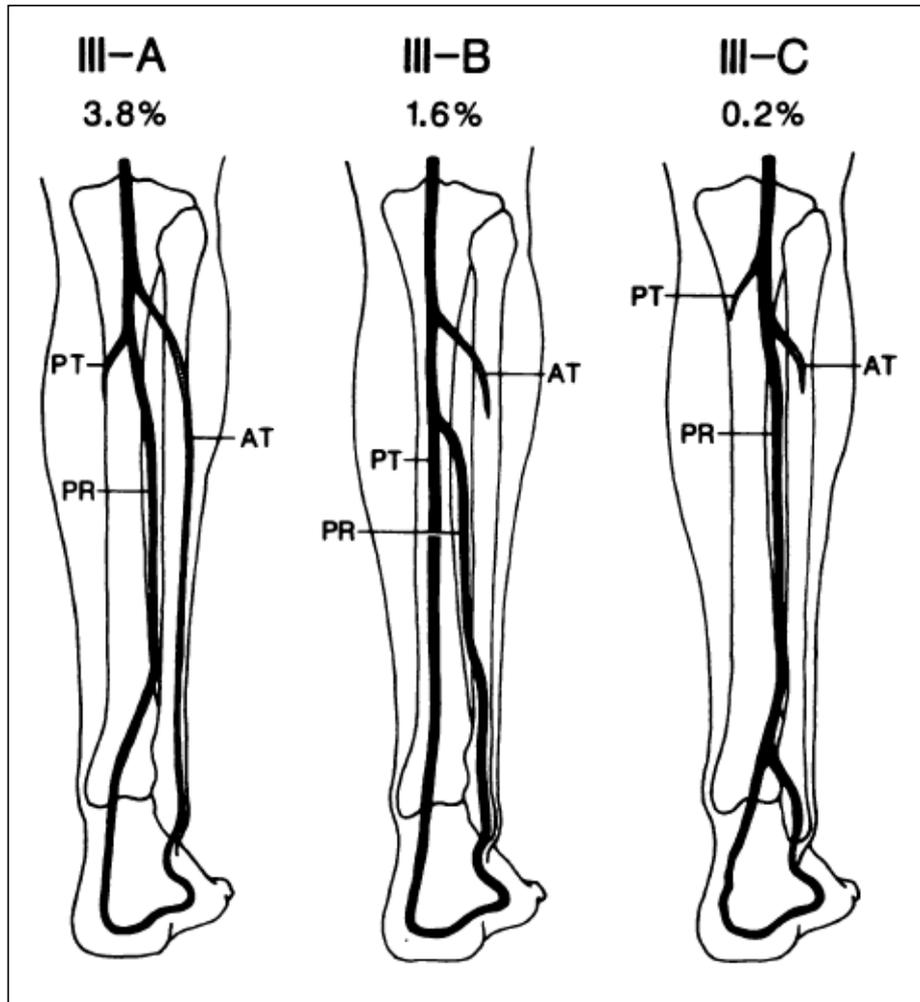
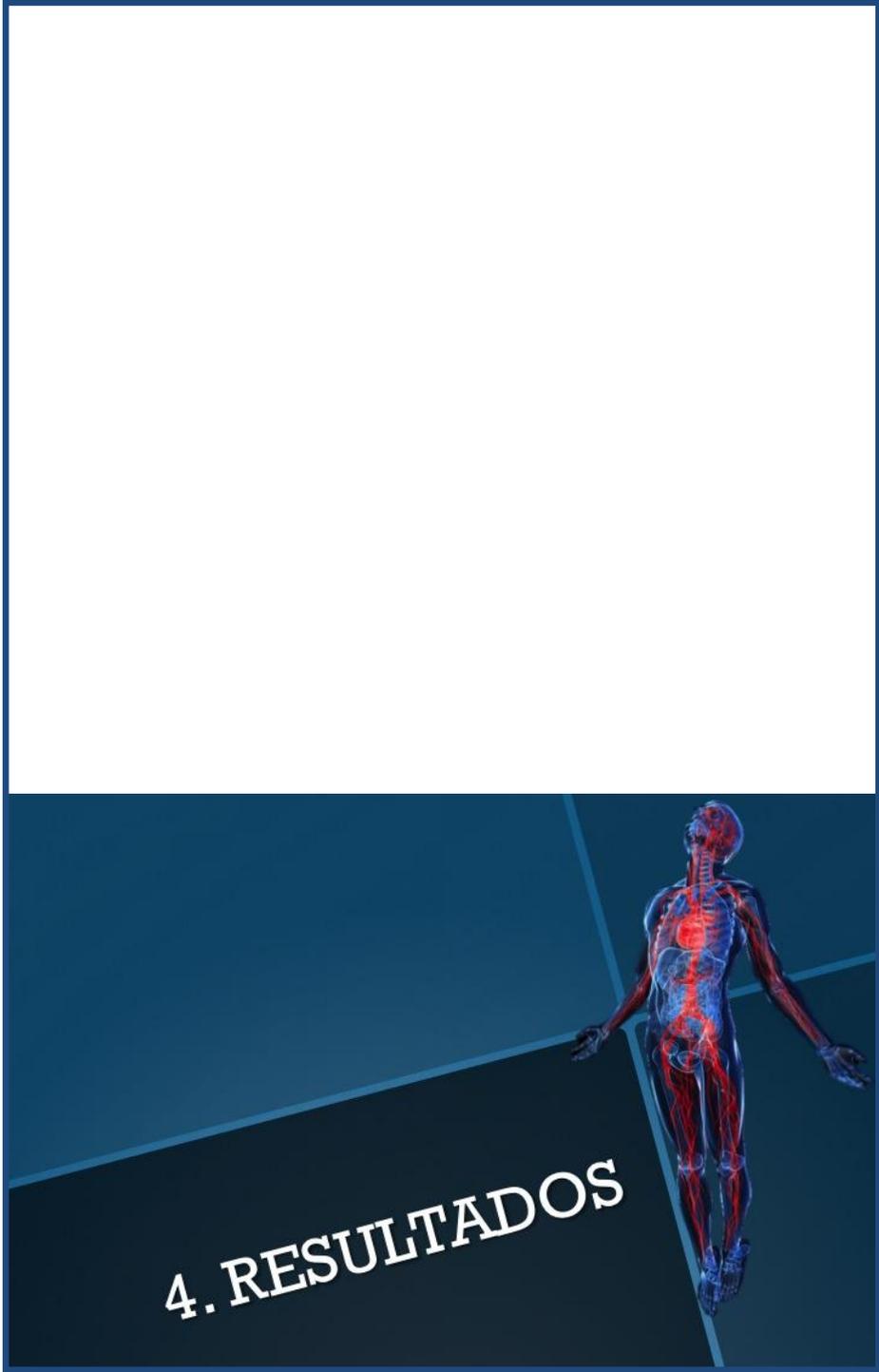


Fig. 3-9. Tipos IIIA, IIIB y IIIC. Tomado de Kim et al., 1989

3.4. Estudio estadístico

Para el almacenamiento y el análisis de datos se creó una base de datos con el paquete estadístico SPSS (versión 17 para Windows), con todas las variables. Previamente al análisis se efectuó una depuración de los datos. Para los datos discretos y continuos, se calcularon los estadísticos descriptivos de porcentaje, media, máximo y mínimo. Se calcularon las frecuencias absolutas y relativas para las variables cualitativas. La comparación de las distribuciones de las frecuencias se realizó con el test de Kolmogorov-Smirnov y el Chi cuadrado de Pearson. Los valores de P menores de 0'05 fueron considerados estadísticamente significativos.



Mil seiscientos treinta y seis miembros inferiores fueron estudiados. La distribución de los patrones encontrados, de acuerdo con la clasificación de Kim et al., (1989) es la que se muestra en la siguiente tabla:

Miembro inferior	TOTAL		MI Derecho		MI Izquierdo		Hombres		Mujeres	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
I-A	1507	92,1	747	91,5	760	92,7	1253	92,2	254	91,3
I-B	24	1,4	12	1,5	12	1,5	22	1,6	2	0,7
I-C	6	0,4	5	0,6	1	0,1	6	0,4	0	0
II-A1	19	1,1	12	1,5	7	0,9	16	1,2	3	1,1
II-A2	27	1,6	15	1,8	12	1,5	22	1,6	5	1,8
II-B	15	0,9	7	0,9	8	0,9	14	1	1	0,4
II-C	1	0,1	1	0,1	0	0	1	0,1	0	0
III-A	24	1,5	10	1,2	14	1,7	17	1,2	7	2,5
III-B	5	0,3	2	0,2	3	0,4	4	0,3	1	0,4
III-C	5	0,3	3	0,4	2	0,2	2	0,1	3	1,1
Patrones combinados	3	0,2	2	0,2	1	0,1	2	0,1	1	0,4
TOTAL	1636	100	816	100	821	100	1359	100	277	100

Tabla 4-1. Distribución de los patrones de ramificación de la arteria poplítea, en función de lateralidad y sexo.

○ Categoría I:

- Tipo I-A (Fig. 4-1): 1507 miembros inferiores (92'1%), 747 (49'57%) derechos y 760 (50'43%) izquierdos.



Fig. 4-1. Patrón de ramificación Tipo IA en miembro inferior derecho en imagen MIP. Flecha gruesa: arteria tibial anterior; flecha fina: arteria tibial posterior; cabeza de flecha: arteria peronea.

- Tipo I-B (Fig. 4-2): 24 miembros inferiores (1'5%), 12 derechos (50%) y 12 izquierdos (50%).



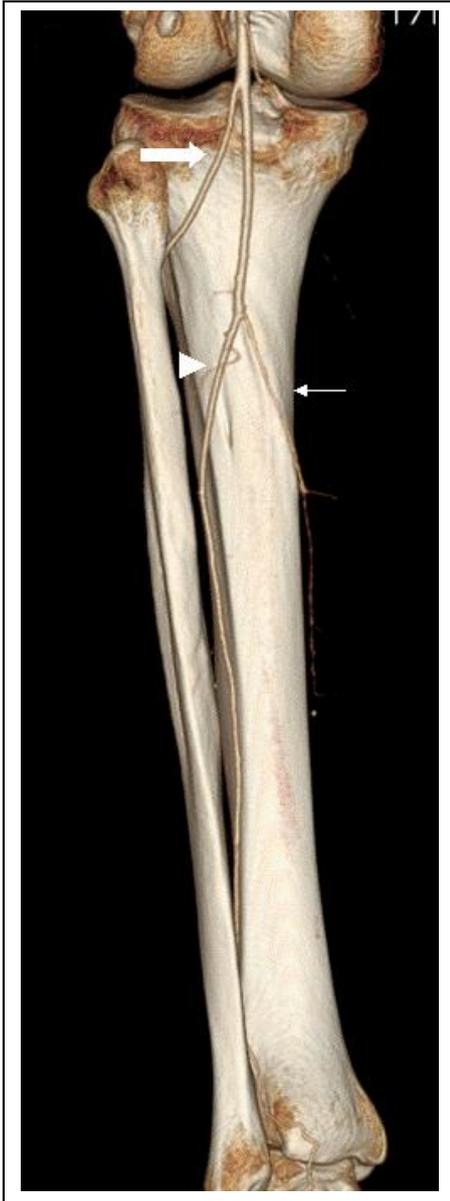
Fig. 4-2. Patrón de ramificación Tipo IB en miembro inferior derecho en imagen MIP. Flecha gruesa: arteria tibial anterior; flecha fina: arteria tibial posterior; cabeza de flecha: arteria peronea.

- Tipo I-C (Fig. 4-3): 6 miembros inferiores (0'4%), 5 derechos (83'33%) y 1 izquierdo (16'66%).



Fig. 4-3. Patrón de ramificación Tipo IC en miembro inferior izquierdo en imagen MIP. Flecha gruesa: arteria tibial anterior; flecha fina: arteria tibial posterior; cabeza de flecha: arteria peronea.

- Categoría II:
 - Tipo II-A1 (Fig. 4-4): 19 miembros inferiores (1'1%), 12 derechos (63'15%) y 7 izquierdos (36'85%).



Fig, 4-4. Patrón de ramificación Tipo IIA-1 en miembro inferior izquierdo en imagen en 3D-VR (visión posterior). Flecha gruesa: arteria tibial anterior; flecha fina: arteria tibial posterior; cabeza de flecha: arteria peronea.

- Tipo II-A2 (Fig. 4-5): 27 miembros inferiores (1'6%), 15 derechos (55'55%) y 12 izquierdos (44'45%).

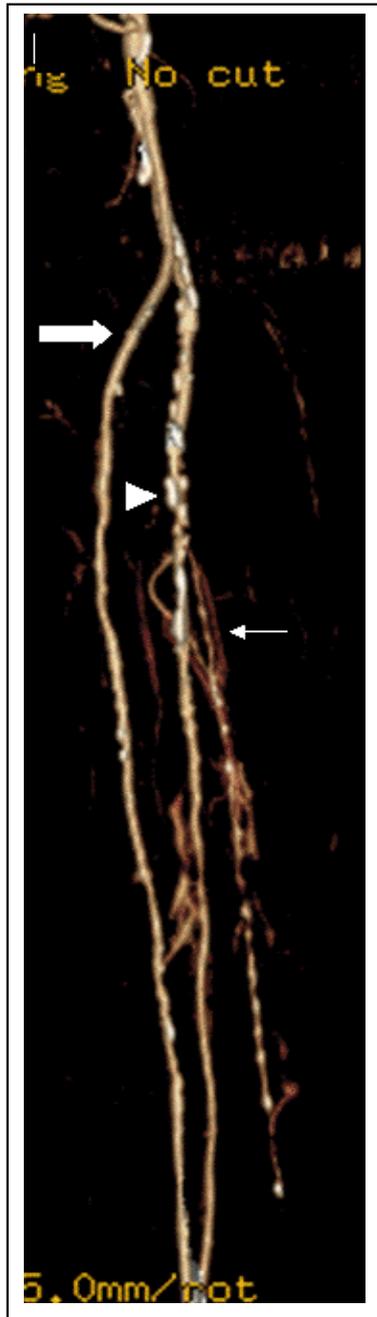


Fig. 4-5. Patrón de ramificación Tipo IIA-2 en miembro inferior derecho en imagen en 3D-VR con sustracción ósea. Flecha gruesa: arteria tibial anterior; flecha fina: arteria tibial posterior; cabeza de flecha: arteria peronea.

- Tipo II-B (Fig. 4-6): 15 miembros inferiores (0'9%), 7 derechos (46'66%) y 8 izquierdos (53'34%).



Fig. 4-6. Patrón de ramificación Tipo IIB en miembro inferior izquierdo en imagen MIP. Flecha gruesa: arteria tibial anterior; flecha fina: arteria tibial posterior; cabeza de flecha: arteria peronea

- Tipo II-C (Fig. 4-7): 1 miembro inferior derecho (0'1%).



Fig. 4-7. Patrón Tipo de ramificación IIC en miembro inferior derecho en imagen MIP. Flecha gruesa: arteria tibial anterior; flecha fina: arteria tibial posterior; cabeza de flecha: arteria peronea.

○ Categoría III:

- Tipo III-A (Fig. 4-8): 24 miembros inferiores (1'5%), 10 derechos (41'66%) y 14 izquierdos (58'34%).



Fig. 4-8. Patrón de ramificación Tipo IIIA en miembro inferior izquierdo en imagen MIP. Flecha gruesa: arteria tibial anterior; cabeza de flecha: arteria peronea.

- Tipo III-B (Fig. 4-9): 5 miembros inferiores (0'3%), 2 derechos (40%) y 3 izquierdos (60%).



Fig. 4-9. Patrón de ramificación Tipo IIIB en miembro inferior derecho en imagen MIP. Flecha fina: arteria tibial posterior; cabeza de flecha: arteria peronea.

- Tipo III-C (Fig. 3-10): 5 miembros inferiores (0'3%), 3 derechos (60%) y 2 izquierdos (40%).



Figura 4-10. Patrón de ramificación Tipo IIIC en miembro inferior derecho en imagen MIP. Flecha gruesa: arteria tibial anterior; cabeza de flecha: arteria peronea.

La variante más frecuente fue el origen alto de la arteria tibial anterior con una ramificación normal (Tipo II-A), encontrado en 46 miembros inferiores (2,7%), 27 derechos (3,3%) y 19 izquierdos (2,6%). En 19 casos (1,1%) como variante II-A1 y en 27 como variante II-A2 (1,6%).

El patrón de trifurcación (tipo I-B) fue hallado en 24 casos (1,4%), al igual que la hipoplasia/aplasia de la arteria tibial posterior con la tibial posterior distal reemplazada por la arteria peronea (tipo III-A), estos patrones fueron los segundos más frecuentes.

En 15 casos (0,9%) se observó un nacimiento de la arteria tibial posterior a nivel o por encima de la rodilla (tipo II-B). El tronco tibial anterior – peroneo a nivel normal (tipo I-C) se encontró en 6 casos (0,4%).

Únicamente encontramos un caso (0,1%) de división alta de la arteria poplítea siendo la arteria peronea la que nace a la altura o por encima de la articulación de la rodilla (tipo II-C). Se trató de un varón caucásico de 71 años cuyo motivo de consulta fue una claudicación intermitente por isquemia crónica de ambos miembros inferiores. Como único antecedente personal presentaba Diabetes Mellitus no insulín-dependiente. En el miembro inferior derecho presentaba la mencionada variante II-C, y en el miembro izquierdo la variante II-B.

Cinco casos (0,3%) se descubrieron de hipoplasia o aplasia de la arteria tibial anterior con la arteria pedia reemplazada por la arteria peronea (tipo III-B), y otros 5 (0,3%) de hipoplasia o aplasia de las arterias tibial anterior y tibial posterior con las arterias tibial posterior distal y pedia reemplazadas de por la arteria peronea (tipo III-C).

Nuevos patrones anatómicos no descritos previamente

También encontramos tres casos con patrones de ramificación no descritos anteriormente, los cuales consideramos que son una combinación de los descritos en la clasificación de Kim et al., (1989).

Caso 1: Tipo I-C + tipo III-B: un tronco tibial anterior – peroneo, asociado a una arteria tibial anterior hipoplásica con la arteria pedia reemplazada por la arteria peronea. Encontramos un único caso (0,1%).

Se trató de un varón caucásico de 61 años cuyo motivo de consulta fue una claudicación intermitente a 100 metros (Fig. 4-11). Como antecedentes personales presentaba una Diabetes Mellitus insulín-dependiente, hipercolesterolemia y hábito tabáquico de 20 cigarrillos/día durante 40 años. En el angio-TC practicado se objetivó un aneurisma de aorta abdominal infrarrenal. En el miembro inferior derecho presentaba la mencionada variante I-C + III-B, y en el miembro izquierdo la variante III-B.

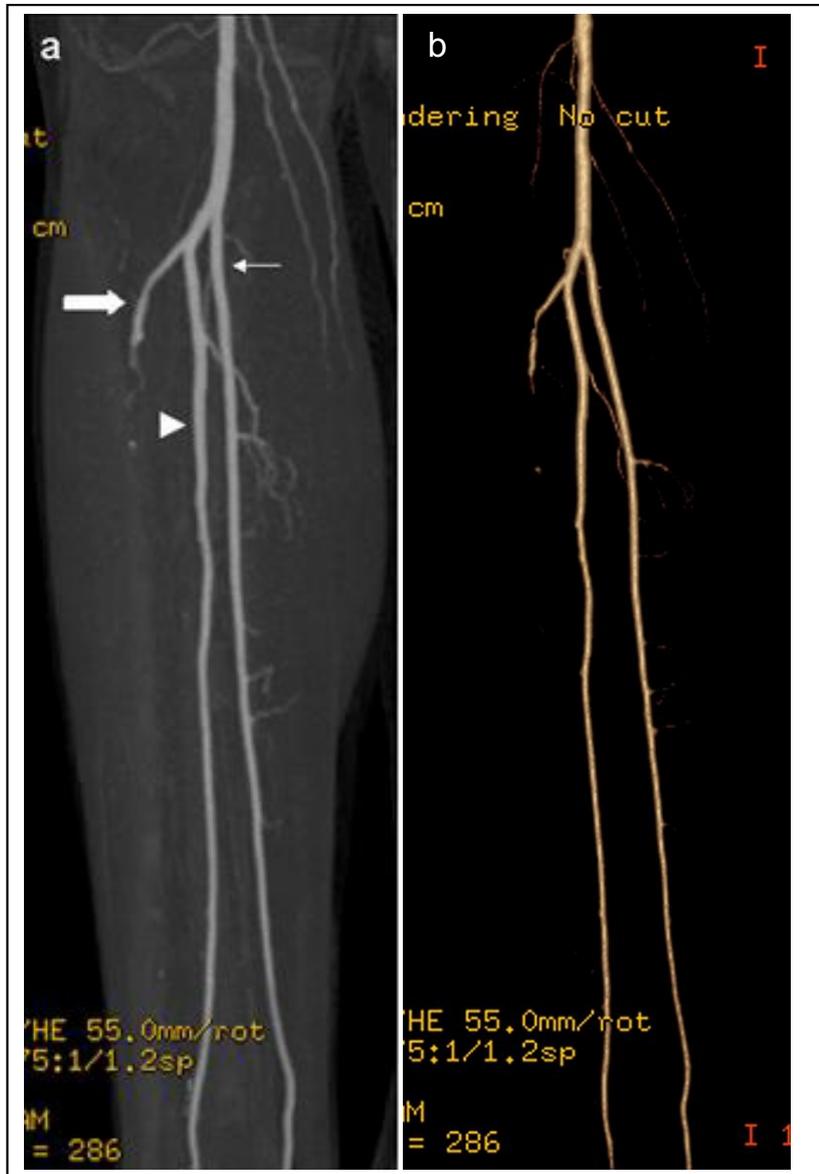


Fig. 4-11. Patrón de ramificación Tipo IC+IIIB en miembro inferior derecho en imagen MIP (a) y en imagen 3D-VR con sustracción ósea (b). Flecha gruesa: arteria tibial anterior; flecha fina: arteria tibial posterior; cabeza de flecha: arteria peronea.

Casos 2 y 3: Tipo II-B + tipo III-A: una arteria tibial posterior que nace a la altura o por encima de la articulación de la rodilla, asociada a una hipoplasia de la arteria tibial posterior con la tibial posterior distal reemplazada por la arteria peronea. Encontramos dos casos (0,2%).

El primero de ellos (Fig. 4-12) se trató de una mujer caucásica de 52 años cuyo motivo de consulta fue una claudicación intermitente a 50 metros. Como antecedentes personales presentaba una arteritis de Takayasu, y como antecedente quirúrgico un bypass axilobifemoral. En el miembro inferior derecho presentaba la mencionada variante II-B + IIIA, y en el miembro izquierdo el tipo IA normal.

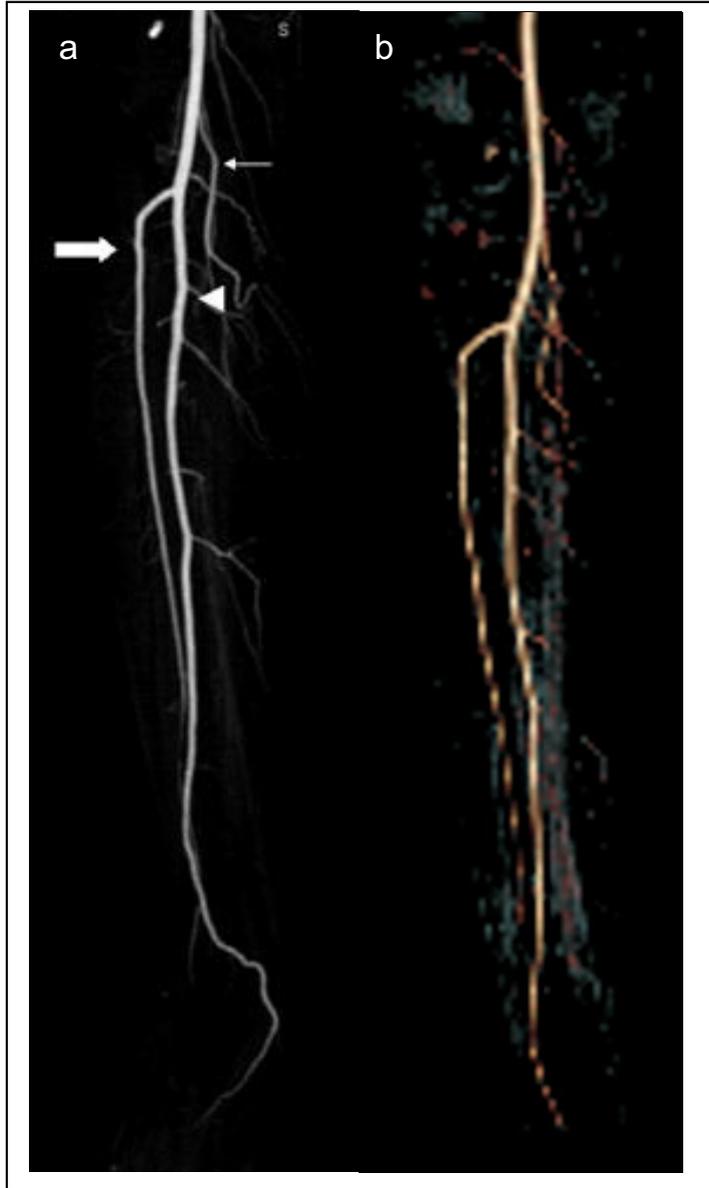


Fig. 4-12. Patrón de ramificación Tipo IIC+IIIA en miembro inferior derecho en imagen MIP (a) y en imagen 3D-VR con sustracción ósea (b). Flecha gruesa: arteria tibial anterior; flecha fina: arteria tibial posterior; cabeza de flecha: arteria peronea.

El segundo (Fig. 4-13) se trató de un varón caucásico de 62 años cuyo motivo de consulta fue una claudicación intermitente a 50 metros. Como antecedentes personales presentaba hipertensión arterial, hipercolesterolemia, diabetes mellitus insulín-dependiente y artrosis en ambas rodillas. En el miembro inferior izquierdo presentaba la mencionada variante II-B + IIIA, y en el miembro derecho el tipo IA normal.

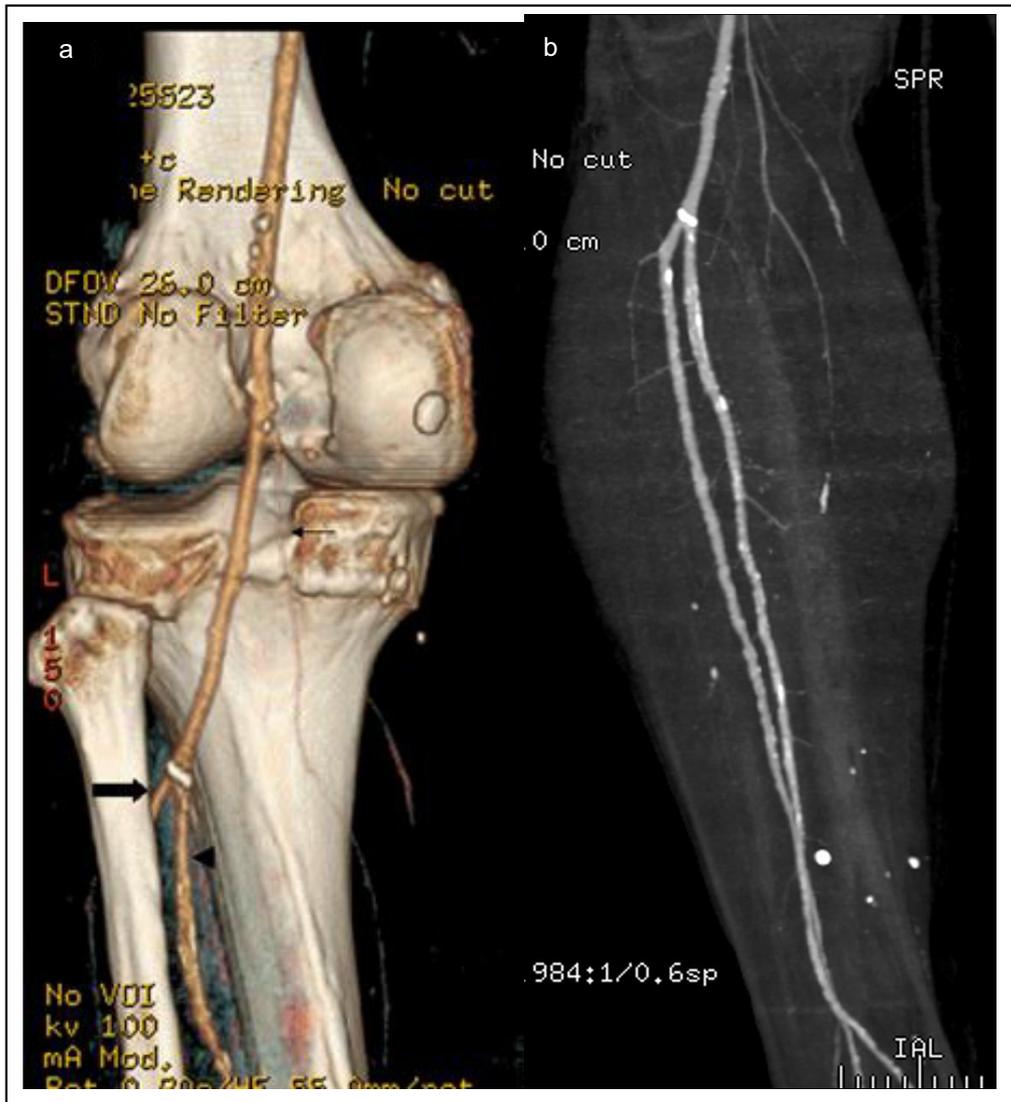
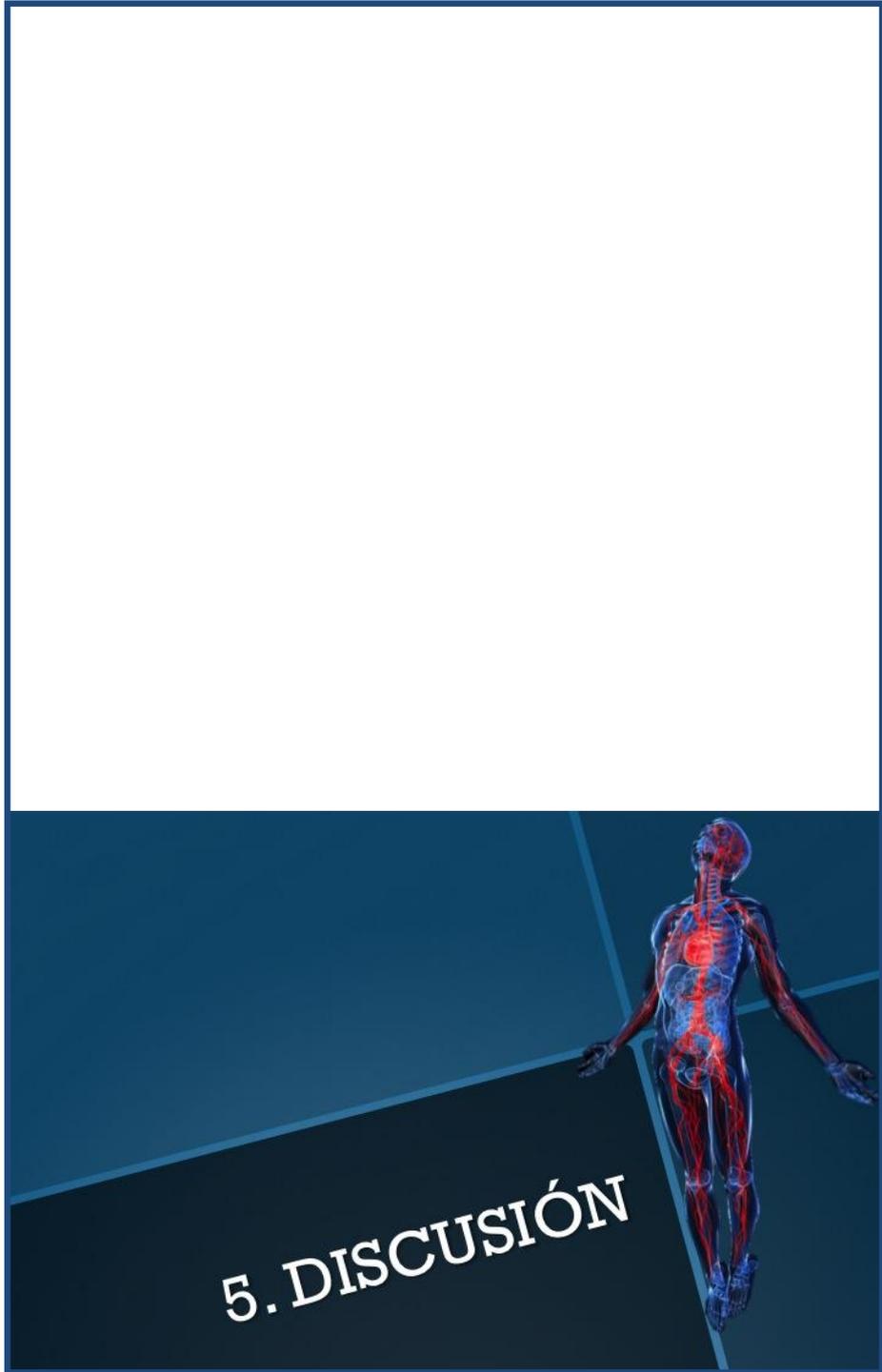


Fig. 4-13. Patrón de ramificación Tipo IIB+IIIA en miembro inferior izquierdo en imagen 3D-VR con sustracción ósea (a) y en imagen MIP (b). Flecha gruesa: arteria tibial anterior; flecha fina: arteria tibial posterior; cabeza de flecha: arteria peronea.



En el presente trabajo presentamos los resultados del estudio de las variantes anatómicas de la arteria poplítea y sus ramas. Hasta la fecha, y tras revisar la bibliografía especializada, ratificamos que es el mayor estudio poblacional realizado sobre este tema y el primero en ser llevado a cabo mediante la técnica de angio-TC.

La mayoría de las variantes anatómicas en el patrón de ramificación de la arteria poplítea pueden explicarse por alteraciones en el proceso de embriogénesis gestacional. Las arterias tibiales anterior y posterior se desarrollan a partir de la arteria femoral, principal arteria del miembro inferior durante el crecimiento fetal, la cual a su vez es rama de la arteria ilíaca externa; por otra parte las arterias poplítea y peronea se desarrollan a partir de los segmentos medio y distal de la arteria axial o ciática, vaso embrionario que irriga los miembros inferiores [Mauro et al., 1988].

En los embriones en desarrollo, la arteria ciática nace de la raíz dorsal de la arteria umbilical y transcurre a lo largo de la pierna hasta el borde topográfico distal del músculo poplíteo, donde origina una rama perforante, la cual se anastomosa a su vez con la arteria femoral [Tindall et al. 2006; Jung et al. 2008].

Con el crecimiento del embrión, la arteria femoral aumenta de tamaño y la arteria ciática disminuye. Esta rama perforante, llamada ramus communicans, en estadios posteriores da lugar a la definitiva arteria tibial anterior [Mauro et al., 1988; Tindall et al. 2006]. La arteria tibial posterior se forma por las anastomosis entre la arteria femoral distal y la arteria poplítea [Tindall et al. 2006].

En la mayor parte de los casos estas variantes vasculares pueden ser esclarecidas por variaciones en la embriogénesis, con combinaciones entre segmentos

primitivos arteriales persistentes, fusiones anormales, hipoplasia o ausencia segmentaria de estas arterias [Senior, 1929; Mauro et al., 1988].

El origen embrionario de estas anomalías puede explicar el hecho de que en nuestro estudio no se objetivaran diferencias significativas en cuanto al sexo o la edad. Así mismo, tampoco encontramos predominancias reveladoras de lateralidad derecha o izquierda, al igual que ocurre en la literatura previa [Kil y Jung, 2009].

Los trabajos clásicos sobre la anatomía vascular de los miembros inferiores, ya ponían de manifiesto la elevada frecuencia de diferencias somáticas en esta región, con unas tasas de variantes anatómicas similares tanto en los estudios angiográficos convencionales como estudios sobre disección en cadáveres [Quain, 1844; Adachi, 1928; Trotter, 1940; Keen, 1961; Morris JC et al., 1961; Bardsley y Staple, 1970; Mauro et al., 1988], como podemos observar en la tabla subsiguiente.

Autor	Año	Fuente	Extremidades examinadas	Variantes anatómicas
Quain	1844	Disección	258	9,7%
Adachi	1928	Disección	770	4%
Trotter	1940	Disección	1168	6,6 %
Keen	1961	Disección	280	9,3%
Morris	1961	Angiografía	246	11,4%
Bardsley	1970	Angiografía	235	7,2%
Mauro	1988	Angiografía	343	12%
Kim	1989	Angiografía	605	7,4%

Tabla 5-1. Trabajos clásicos sobre variantes anatómicas en la ramificación de la arteria poplítea.

Desde que Kim et al. publicaran en 1989 su práctica clasificación de las variantes anatómicas en el patrón de ramificación de la arteria poplítea basada en la clasificación cadavérica de Lippert y Pabst [1985], se han publicado diversos estudios cadavéricos [Piral et al., 1996; Ozgur et al., 2009], exploraciones angiográficas [Kim et al., 1989; Davies et al., 1989; Prayer et al., 1990; Voboril, 1990; Szpinda, 2006; Day y Orme, 2006; Kil y Jung, 2009; Mavili et al., 2011] e incluso con técnica ecografía Doppler [Tindall et al., 2006], describiendo este tipo de variantes; obteniendo una incidencia de patrones de ramificación diferentes al considerado habitual (tipo I-A) de entre el 6'4 y el 18'2 % según los diversos autores [Kim et al., 1989; Davies et al., 1989; Prayer et al., 1990; Voboril, 1990; Pirál et al., 1996; Day y Orme, 2006; Szpinda, 2006; Kil y Jung, 2009; Ozgur et al., 2009; Mavili et al., 2011; Kropman et al., 2011].

La tabla siguiente muestra la frecuencia de cada patrón de ramificación observado por los diferentes autores.

AUTOR	AÑO	MÉTODO	N	PATRÓN VASCULAR									
				IA (%)	IB (%)	IC (%)	IIA-1 (%)	IIA-2 (%)	IIB (%)	IIC (%)	IIIA (%)	IIIB (%)	IIIC (%)
Kim D et al.	1989	Angiografía	605	92,6	2	1,2	3	0,7	0,8	<0,2	3,8	1,6	0,2
Davies BW et al.	1989	Angiografía	200	88	6	0	2		1,5	0	2,5	-	-
Prayer L et al.	1990	Angiografía	414	90,1	0,7	0,7	4,1		2,9	0	1,5	0,5	-
Voboril R	1990	Angiografía	253	81,8	5,5	0	2		2,4	0	7,5	0,8	-
Píral t et al.	1996	Dissección	40	90,9	5	5	0		0	0	-	-	-
Szpinda M	2006	Angiografía	152	87,5	2,6	2	2		5,9	0	-	-	-
Day CP y Orme R	2006	Angiografía	1037	90,7	3,2	0,3	2,1	2,4	1,1	0,2	0,8	0,1	0,1
Kil SW y Jung JS	2009	Angiografía	1242	89,2	1,5	0,1	1,2	1,2	0,4	0	5,1	1,7	0,8
Ozgun Z et al.	2009	Dissección	40	90	2,5	2,5	5	0	0	0	-	-	-
Mavili E et al.	2011	Angiografía	535	82,4	5,4	0,4	2,6	1,3	1,5	0	3,7	2,2	0,2
Estudio actual	2014	Angio-TC	1636	92,1	1,4	0,4	1,1	1,6	0,9	0,1	1,5	0,3	0,3

Tabla 5-2. Frecuencia de variantes anatómicas en la ramificación de la arteria poplitea observadas en diferentes estudios.

Los resultados de nuestro estudio con la técnica de angio-TC concuerdan con los observados en los estudios previos, encontrando el patrón más frecuente el considerado habitual (tipo I-A), y siendo las variantes más frecuentes:

- a) el nacimiento de la arteria tibial anterior a la altura o por encima de la articulación de la rodilla (tipo II-A): 27%.
- b) la trifurcación (tipo I-B): 1'4%.
- c) la hipoplasia/aplasia de la arteria tibial anterior con la arteria pedia reemplazada por la arteria peronea (tipo III-A): 1'5%.

Las variantes englobadas como categoría II, correspondiente a la división alta de la arteria poplítea, se encontraron en el 3'7% de los casos, valor acorde con los estudios previos.

En nuestra serie, el patrón más repetido fue el II-A2, donde la arteria tibial anterior nace a la altura o por encima de la articulación de la rodilla y sigue un curso anterior al músculo poplíteo, esquema que fue hallado en el 1'6% de los casos estudiados. No obstante únicamente encontramos un caso de nacimiento de arteria peronea a la altura o por encima de la articulación de la rodilla (tipo II-C).

De facto, las variantes menos frecuentemente encontradas en nuestro estudio fueron:

- a) el tipo II-C (la arteria peronea nace a la altura o por encima de la articulación de la rodilla), en el 0'1%.
- b) el tipo III-B (la arteria tibial anterior está hipoplásica o aplásica con la arteria pedia reemplazada por la arteria peronea), en el 0'3%

c) el tipo III-C (las arteria tibial anterior y tibial posterior están hipoplásicas/aplásicas con la tibial posterior distal y pedia reemplazadas por la peronea), en el 0'3%.

d) el tipo I-C (tronco tibial anterior – peroneo), en el 0'4%.

Respecto a la variante II-C, es un patrón muy pocas veces encontrado en los estudios precedentes (0 – 0'2%), sólo se han registrado tres casos en toda la literatura, uno en la serie de Kim et al.,1989 y dos en la de Day y Orme, 2006, por lo que el caso encontrado en nuestra serie debe ser considerado como el cuarto descrito hasta el momento actual.

Debido a que la enfermedad aterosclerótica puede dificultar la distinción entre las anomalías congénitas y las adquiridas a lo largo de la evolución de la arterioesclerosis, en algunos estudios previos basados en la angiografía convencional, el número de casos analizados para las variantes de la categoría III es menor que para las variantes de las categorías I y II [Kim et al.,1989; Day y Orme, 2006], lo que supone una limitación evidente de los mismos; desventaja que no se ha producido en nuestro trabajo debido que el uso del angio-TC como técnica de imagen para llevar a cabo el estudio obvia esta disyuntiva.

La aterosclerosis, es una patología asociada a la edad avanzada caracterizada por la presencia de calcio en la pared arterial, que afecta con relativa frecuencia a los miembros inferiores de los pacientes sujetos de nuestro estudio. Este hecho, en ocasiones, dificulta la valoración de la permeabilidad del vaso, ya que es difícil distinguir si existe contraste o no en el interior de la luz de un vaso cuya

circunferencia es totalmente cálcica [Fleischmann et al., 2006]. La tomografía computerizada tiene una alta sensibilidad para la detección del calcio en la pared arterial y, aunque para la valoración de la permeabilidad del vaso sea de forma general un inconveniente, para nuestro estudio es por contra una gran ventaja, ya que aunque no se aprecie contraste en el interior de la luz, el hecho de observar el calcio, indica que en ese lugar existe (o existió en algún momento anterior) una arteria permeable.

En resumen, aunque los resultados son más discordantes en esta cuestión entre los diferentes estudios y autores [Kim et al., 1989; Davies et al., 1989; Prayer et al., 1990; Voboril, 1990; Day y Orme, 2006; Kil y Jung, 2009; Mavili et al., 2011], todos concuerdan en que el tipo III-A es el más común, coincidiendo así mismo con nuestra investigación.

Un patrón no clasificado por Kim et al. [1989] fue el descrito por Mavili et al. [2011], consistente en una división alta de la arteria poplítea con una trifurcación a la altura o por encima de la articulación de la rodilla, al que llamaron tipo II-D. No encontramos ningún caso con este patrón de ramificación en nuestro estudio.

No obstante, sí que hemos encontrado dos nuevos patrones no descritos hasta la fecha quizá, debido al mayor número de participantes en nuestro estudio (n=1636), o bien a una mayor precisión de la técnica empleada en el mismo:

- a) una combinación de los tipos I-C y III-B: un tronco tibial anterior – peroneo, asociado a una arteria tibial anterior hipoplásica con la arteria peronea reemplazada por la arteria peronea; en el 0'1% de los casos (n=1).

- b) una combinación de los tipo II-B y III-A: una arteria tibial posterior que nace a la altura o por encima de la articulación de la rodilla, asociada a una hipoplasia de la arteria tibial posterior con la tibial posterior distal reemplazada por la arteria peronea; en el 0'1% de los casos (n=2).

Al respecto de las técnicas de imagen existentes para el estudio de las variantes anatómicas de la arteria poplítea y sus ramas, en el presente estudio hemos utilizado la angio-TC. Aunque el diagnóstico de la patología arterial periférica de miembros inferiores suele basarse en la exploración clínica, y la ecografía Doppler como método de imagen, la planificación del tratamiento, quirúrgico o endovascular, se realiza mediante angiografía, debido a su mayor calidad de imagen con respecto a la ecografía Doppler [Kim et al., 1989; Day y Orme, 2006; Kil y Jung, 2009; Mavili et al., 2011], al proporcionar mayor información al cirujano vascular.

Sin embargo, la angiografía convencional tiene unos importantes inconvenientes:

- es un método muy invasivo, en el que se punciona una de las principales arterias del cuerpo humano (habitualmente la arteria femoral) y que requiere cuidados postprocedimiento y, en ocasiones, estancia hospitalaria prolongada de hasta 24 horas;
- consecuente morbimortalidad asociada, pudiendo producir complicaciones hasta en el 1% de los casos;
- comparativamente con las técnicas no-invasivas, su coste es mayor [Waugh y Sacharias, 1992], y por lo tanto, su impacto económico coste-beneficio.

No obstante, y a pesar de su naturaleza invasiva y del uso de radiación ionizante, la angiografía convencional está considerada la técnica gold standard para la evaluación de las estructuras vasculares [Akgun et al., 2013].

Sin embargo, la angio-TC usada en nuestro estudio, puede proporcionar una definición de imagen tan precisa como la angiografía convencional, con la ventaja de ser un procedimiento más seguro, en el que únicamente se punciona una vena periférica (normalmente del dorso de la mano) [Hiatt et al., 2005; Fleischmann et al., 2006].

En resumen, en nuestra opinión, el desarrollo de las técnicas de imagen vascular no-invasivas, como el angio-TC, permiten el estudio del árbol vascular periférico sin necesidad de angiografía convencional, en unos pocos segundos, y pueden ser actualmente utilizadas para el diagnóstico, planificación de tratamiento y seguimiento de pacientes con enfermedad vascular periférica. En comparación con la angiografía convencional, el angio-TC es menos invasivo y más económico, y expone al paciente a una menor dosis de radiación [Rubin, 2001].

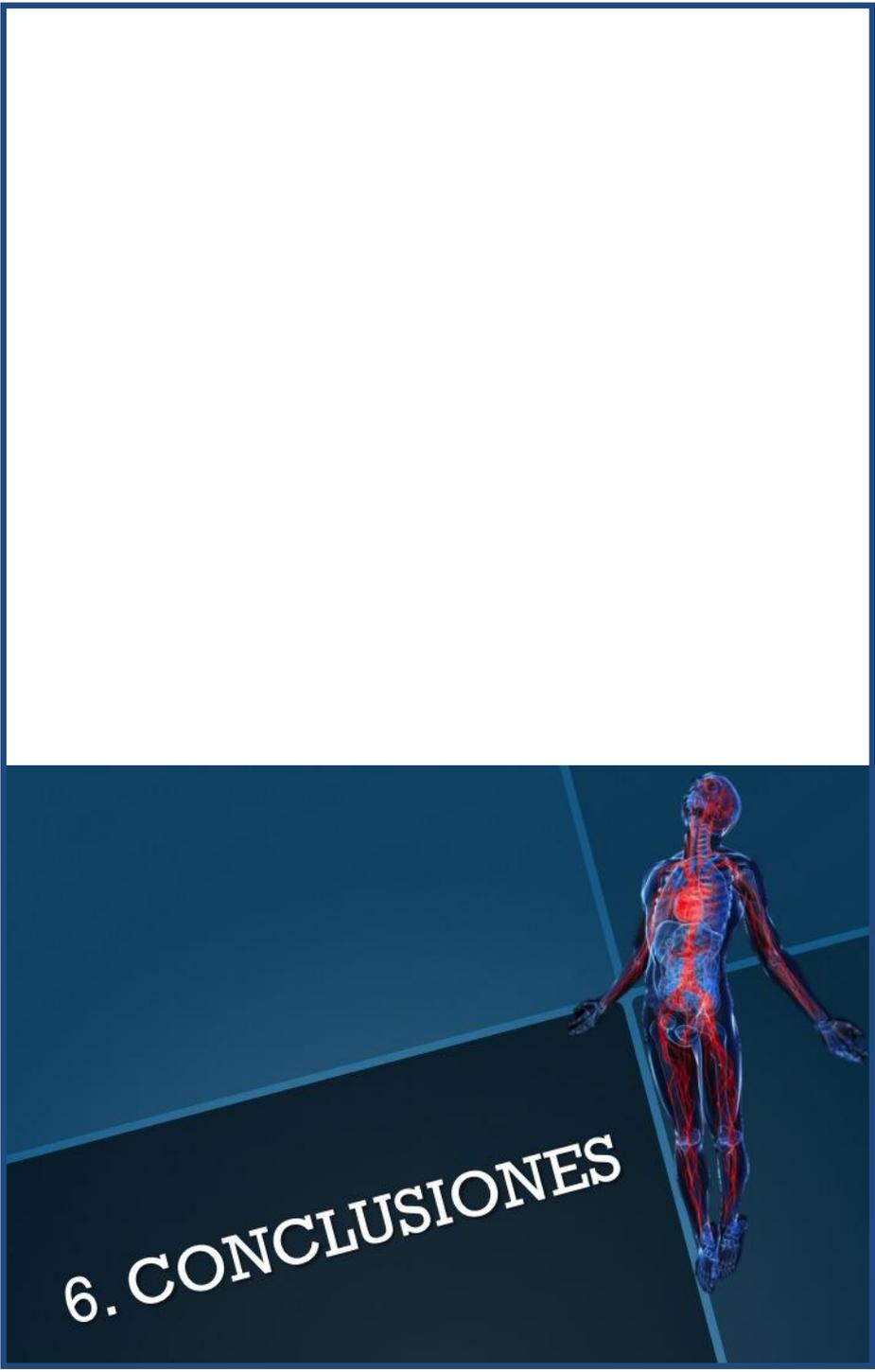
Respecto a la angiografía por resonancia magnética (angio-RM), queremos destacar una serie de ventajas de la exploración con angio-TC que hemos utilizado:

- no tiene las habituales contraindicaciones de la resonancia magnética, como el uso de implantes metálicos o desfibriladores;
- evita las falsas imágenes de la angio-RM causadas por el movimiento de los vasos;

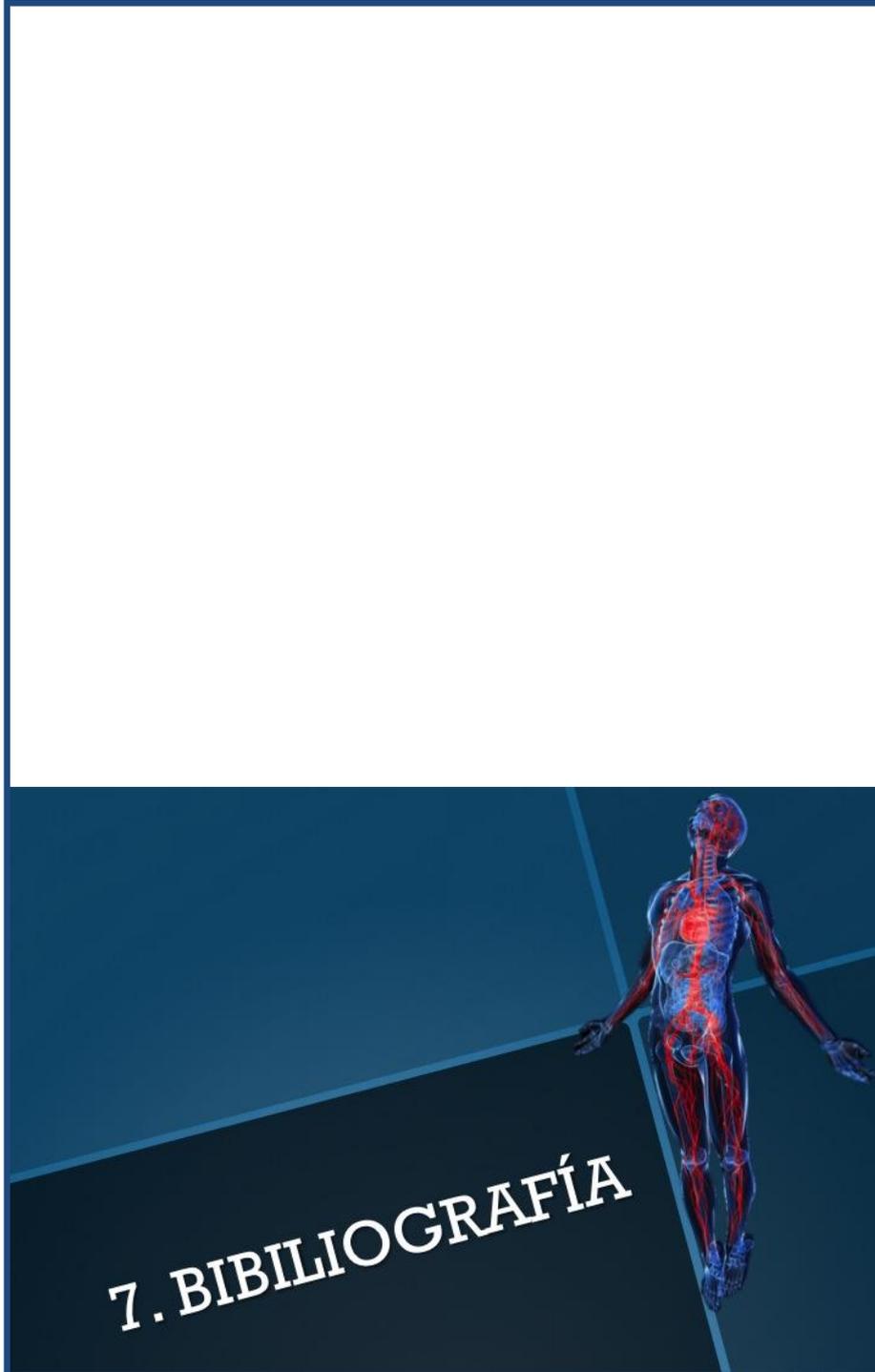
- y permite incluir las estructuras óseas en la imagen, referencias anatómicas útiles que no se observan en la angio-RM [Fleischmann et al., 2006].

Empero, debemos hacer notar que en la evaluación de las imágenes, hemos priorizado en los orígenes de los vasos, pero especialmente en los casos con variaciones, la distribución de otros vasos moderada o totalmente desarrollados que suplieran el territorio de vasos agenésicos, no ha sido objeto de nuestro estudio.

Por último, nuestro trabajo también tiene limitaciones. Una de ellas es que el diseño del estudio es retrospectivo, y en él evaluamos únicamente imágenes de angio-TC. No se realizaron angiografías convencionales o disecciones quirúrgicas para el estudio comparativo. Aunque estudios prospectivos en sujetos sanos realizados mediante angio-TC, angio-RM y angiografía convencional podrían evitar esta limitación, el uso de radiación ionizante es un inconveniente no desdeñable.



1. De nuestro estudio se desprende que la técnica de angio-TC muestra una calidad de imagen y unos resultados comparables a los obtenidos por otros autores con métodos de angiografía convencional o disección cadavérica.
2. Consideramos que la técnica angio-TC puede ser utilizada como test de elección para el diagnóstico de estas variantes arteriales, dada la calidad de imagen comparable a la proporcionada por la angiografía convencional y su bajo riesgo de morbimortalidad para el paciente.
3. El estudio seriado en una larga muestra de sujetos ha revelado la existencia de dos nuevos patrones anatómicos de ramificación de la arteria poplítea no descritos hasta la fecha, de interés docente, así como para anatomistas, radiólogos, y cirujanos vasculares y ortopédicos.
4. La incorporación de nuevas técnicas de imagen posibilita la detección de nuevas variantes anatómicas vasculares in vivo que deberán ser refrendadas mediante el estudio seriado de disecciones cadavéricas.



- Adachi B. Das arteriensystem der Japaner, Vol. II, Kyoto: Maruzen 1928.
- Akgun V, Battal B, Bozkurt Y, Oz O, Hamcan S, Sari S, Akgun H. Normal anatomical features and variations of the vertebrobasilar circulation and its branches: an analysis with 64-detector row CT and 3T MR angiographies. *ScientificWorldJournal* 2013;2013:620162. doi:10.1155/2013/620162.
- Aspelin P, Aubry P, Fransson SG, Strasser R, Willenbrock R, Berg KJ (Nephrotoxicity in high-risk patients study of iso-osmolar and low-osmolar non-ionic contrast media study investigators). Nephrotoxic effects in high-risk patients undergoing angiography. *The New England Journal of Medicine*, 2003; 348:491-499.
- Awai K, Hiraishi K, Hori S. Effect of contrast material injection duration and rate on aortic peak time and peak enhancement at dynamic CT involving injection protocol with dose tailored to patient weight. *Radiology*. 2004;230(1):142-50.
- Bae KT, Heiken JP, Brink JA. Aortic and hepatic contrast medium enhancement at CT: part I. Prediction with a computer model. *Radiology*, 1998; 207:647-655.
- Bardsley JL, Staple TW. Variations in branching of the popliteal artery. *Radiology*. 1970; 94:581-87.
- Bergman, RA., Thomson SA., Afifi AK., Saadeh FA. *Compendium of Human Anatomy Variation*. Baltimore-Munich. Ed. Urban & Schwarzenberg, 1988.
- Cademartiri F, van der Lugt A, Luccichenti G, Pavone P, Krestin GP. Parameters affecting bolus geometry in CTA: a review. *Journal of Computed Assisted Tomography*, 2002; 26:598-607.
- Carlson BM. *Embriología humana y biología del desarrollo*. Ed. Elsevier, 2014.

- Catalano C, Fraioli F, Laghi A, Napoli A, Bezzi M, Pediconi F, Danti M, Nofroni I, Passariello R. Infrarenal aortic and lower-extremity arterial disease: diagnostic performance of multidetector row CT angiography. *Radiology*. 2004; 231:555-63.
- Coalson RE, Tomasek JJ. *Embriology*. Ed. Springer, 2014.
- Colborn GL, Lumsden AB, Taylor BS, Skandalakis JE. The surgical anatomy of the popliteal artery. *The American Surgeon* 1994;60:238-246.
- Cronenwett JL, Gloviczki P, Johnston KW, Kempczinski RF, Krupski WC. *Rutherford Vascular Surgery*. Ed. Saunders, 2000.
- Cross L, Hall J, Howdieshell TR, Colborn GL, Gale TF. Clinical anatomy of the popliteal blood vessels. *Clinical Anatomy* 2000;13:347-353.
- Davies BW, Husami TW, Lewis J, Retrum E. Developmental variations of the popliteal artery and its branches: a clinical correlation. *Contemporary Surgery* 1989;34:28-32.
- Day CP, Orme R. Popliteal artery branching patterns-an angiographic study. *Clinical Radiology* 2006;61:696-699.
- De Vries M, Ouwendijk R, Flobbe K, Nelemans PJ, Kessels AG, Schurink GH, van der Vliet JA, Heijstraten FM, Cuypers PW, Duijm LE, van Engelshoven JM, Hunink MG, de Haan MW. Peripheral arterial disease: clinical and cost comparisons between duplex US and contrast-enhanced MR angiography--a multicentre randomized trial. *Radiology*, 2006; 240:401-410.
- Drake RL, Mitchell AMW, Vogl AW. *Gray. Anatomía para estudiantes*. Ed. Elsevier, 2011.
- Fleischmann D, Hallett RL, Rubin GD. CT Angiography of Peripheral Arterial Disease. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, 2006;17:3-26.

- Fleischmann D, Rubin GD, Bankier AA, Hittmair K. Improved uniformity of aortic enhancement with customized contrast medium injection protocols at CT angiography. *Radiology*. 2000;214(2):363-371.
- Fleischmann D. Contrast Medium Delivery for Vascular MDCT: Principles and Rationale. En: Reiser MF, Takahashi M, Modic M, Becker CR (eds.). *Multislice CT*, 2nd ed. Springer: Verlag Berlin, Heidelberg, New York; 2004. p. 27-33.
- Flohr T, Ohnesorge B. Heart-rate adaptive optimization of spatial and temporal resolution for ECG-gated multi-slice spiral CT of the Heart. *Journal of Computed Assisted Tomography*, 2001;25:907-923.
- Flohr T, Prokop M, Becker C, Schoepf UJ, Kopp AF, White RD, Schaller S, Ohnesorge B.. A retrospectively ECG-gated multislice spiral CT scan and reconstruction technique with suppression of heart pulsation artifacts for cardiothoracic imaging with extended volume coverage. *European Radiology*, 2002;12(6):1497-1503.
- Foley WD, Karcaaltincaba M. Computed Tomography Angiography: Principles and Clinical Applications. *Journal of Computed Assisted Tomography*, 2003;27(1):S23-S30.
- Foley WD, Stonely T. CT angiography of the lower extremities. *Radiologic Clinics of North America*, 2010;48:367-396.
- Hiatt MD, Fleischmann D, Hellinger JC, Rubin GD. Angiographic imaging of the lower extremities with multidetector CT. *Radiologic Clinics of North America* 2005;43:1119-1127.
- Jiménez Borreguero LJ. *Nuevas técnicas de imagen cardio-RM y cardio-TC*. Madrid: EgrafSA; 2006.

- Jung W, Oh CS, Won HS, Chung IH. Unilateral arteria peronea magna associated with bilateral replaced dorsalis pedis arteries. *Surgical and Radiologic Anatomy: SRA* 2008;30:449-452.
- Kang PS, Spain JW. Multidetector CT Angiography of the Abdomen. *Radiologic Clinics of North America*, 2005; 43:963-976.
- Kawarada O, Yokoi Y, Honda Y, Fitzgerald PJ. Awareness of anatomical variations for infrapopliteal intervention. *Catheterization and Cardiovascular Interventions* 2010;76:888-894.
- Keen JA. A study of the arterial variations in the limbs with special reference to symmetry of vascular patterns. *The American Journal of Anatomy*. 1961; 108:245-261.
- Kil SW, Jung GS. Anatomical variations of the popliteal artery and its tibial branches: analysis in 1242 extremities. *Cardiovascular and Interventional Radiology* 2009;32(2):233-240.
- Kim D, Orron DE, Skillman JJ, Surgical significance of popliteal arterial variants: a unified angiographic classification. *Annals of Surgery* 1989;210:776-781.
- Kropman RHJ, Kiela G, Moll FL, de Vries JP. Variations in anatomy of the popliteal artery and its side branches. *Vascular and endovascular surgery* 2011;45(6):536-540.
- Kubo S, Tadamura E, Yamamuro M, Kanao S, Kataoka ML, Takahashi M, Kimura T, Kita T, Komeda M, Togashi K. Multidetector-row computed tomographic angiography of thoracic and abdominal aortic aneurysms: comparison of arterial enhancement with 3 different doses of contrast material. *Journal of Computed Assisted Tomography*. 2007;31(3):422-9.

- Leonardi M. Contrast medium dose and renal failure. *Radiology*, 2000; 207:832-833.
- Lippert H, Pabst R. Arterial variations in man: classification and frequency. München: JF Bergman Verlag; 1985.
- Martin ML, Tay KH, Flak B, Fry PD, Doyle DL, Taylor DC, Hsiang YN, Machan LS. Multidetector CT angiography of the aortoiliac system and lower extremities: a prospective comparison with digital subtraction angiography. *AJR: American Journal of Roentgenology*. 2003; 180:1085-91.
- Mauro MA, Jaques PF, Moore M. The popliteal artery and its branches: embryological basis of normal and variant anatomy. *AJR American Journal of Roentgenology* 1988;150:435-437.
- Mavili E, Dönmez H, Kahriman G, Özaşlamacı A, Özcan N, Taşdemir K. Popliteal artery branching patterns detected by digital subtraction angiography. *Diagnostic and Interventional Radiology* 2011;17(1):80-83.
- Moore KL, Persaud TVN, Torchia MG. *Embriología clínica*. Ed. Elsevier, 2013.
- Morris GC, Beall AC, Berry WB, Feste J, De Bakey ME. Anatomical studies of the distal popliteal artery and its branches. *Surgical Forum*. 1961; 10: 498-502.
- Ofer A, Nitecki SS, Linn S, Epelman M, Fischer D, Karram T, Litmanovich D, Schwartz H, Hoffman A, Engel A. Multidetector CT angiography of peripheral vascular disease: a prospective comparison with intraarterial digital subtraction angiography. *AJR: American Journal of Roentgenology*. 2003; 180:719-24.
- Ota H, Takase K, Igarashi K, Chiba Y, Haga K, Saito H, Takahashi S. MDCT compared with digital subtraction angiography for assessment of lower extremity arterial occlusive disease: importance of reviewing cross-sectional images. *AJR: American Journal of Roentgenology*. 2004; 182:201-9.

- Ozgur Z, Ucerler H, Aktan Ikiz ZA. Branching patterns of the popliteal artery and its clinical importance. *Surgical and Radiologic Anatomy* 2009;31(5):357-362.
- Piral T, Germain M, Princ G. Absence of the posterior tibial artery: implications for free transplants of the fibula. *Surgical and Radiologic Anatomy* 1996;18(2):155-158.
- Prayer L, Karnel F, Schurawitzki H. Angiographic demonstration of the branching of the popliteal artery in the arteries of the lower extremity: variations and frequency distribution. *Röntgenpraxis* 1990;43:100-103.
- Quain R. *The anatomy of the arteries of the human body*. London: Taylor & Walter, 1844.
- Ritchie JL, Nissen SE, Douglas JS, Dreifus LS, Gibbons RJ, Higgins CB, Schelbert HR, Seward JB, Zaret BL. Use of nonionic or low osmolar contrast agents in cardiovascular procedures. American College of Cardiology Cardiovascular Imaging Committee. *Journal of the American College of Cardiology*, 1993; 21:269-273.
- Romano M, Mainenti PP; Imbriaco M, Amato B, Markabaoui K, Tamburrini O, Salvatore M. Multidetector row CT angiography of the abdominal aorta and lower extremities in patients with peripheral arterial occlusive disease: diagnostic accuracy and interobserver agreement. *European Journal of Radiology*. 2004; 50:303-8.
- Rubin GD, Schmidt AJ, Logan LJ, Sofilos MC. Multi-detector row-CT angiography of lower extremity arterial inflow and runoff: initial experience. *Radiology* 2001;221:146-158.
- Sanders RJ, Alston GK. Variations and anomalies of the popliteal and tibial arteries. *American Journal of Surgery* 1986;152:531-534.

- Schoellnast H, Tillich M, Deutschmann MJ, Deutschmann HA, Schaffler GJ, Portugaller HR. Aortoiliac enhancement during computed tomography angiography with reduced contrast material dose and saline solution flush: influence on magnitude and uniformity of the contrast column. *Investigative Radiology*. 2004;39(1):20-26.
- Schoepf UJ. *CT of the Heart: principles and applications*. New Jersey: Humana press; 2005.
- Senior HD. The development of the arteries of the human lower extremity. *American Journal of Anatomy*. 1919; 25:54-95.
- Setty BN, Sahani DV, Ouellette-Piazza K, Hahn PF, Shepard JA. Comparison of enhancement, image quality, cost, and adverse reactions using 2 different contrast medium concentrations for routine chest CT on 16-slice MDCT. *Journal of Computed Assisted Tomography*. 2006 Sep-Oct;30(5):818-822.
- Szpinda M. Digital-image analysis of the angiographic patterns of the popliteal artery in patients with aorto-iliac occlusive disease (Leriche syndrome). *Annals of Anatomy* 2006;188:377-382.
- Testut L, Latarjet A. *Compendio de Anatomía Descriptiva*. Ed. Elsevier Masson, 1996.
- Tindall AJ, Shetty AA, James KD, Middleton A, Fernando KW. Prevalence and surgical significance of a high-origin anterior tibial artery. *Jurnal of Orthopaedic Surgery (Hong Kong)* 2006;14(1):13-16.
- Tortora GJ, Derrickson B. *Principios de Anatomía y Fisiología*. Ed. Panamericana, 2013.
- Trotter M. The level of termination of the popliteal artery in the white and the negro. *American Journal of Physical Anthropology*. 1940; 27(1):109-118.

- Utsunomiya D, Awai K, Tamura Y, Nishiharu T, Urata J, Sakamoto T, Taniguchi A, Yamashita Y. 16-MDCT aortography with low-dose contrast material protocol. *AJR: American Journal of Roentgenology*, 2006;186:374-378.
- Vazquez T, Rodríguez-Niedenfuhr M, Parkin I, Viejo F, Sanudo J. Anatomic study of blood supply of the dorsum of the foot and ankle. *Arthroscopy* 2006;22:287-290.
- Voboril R. Note on variability of the arteries of the lower extremities in man. *Folia Morphologica* 1990;38:265-272.
- Waugh JR, Sacharias N. Arteriographics complications in the DSA era. *Radiology* 1992;182:243-246.
- Webster S, de Wreede R. *Embriología*. Ed. Médica Panamericana, 2013
- Willman JK, Baumert B, Schertler T, Wildermuth S, Pfammatter T, Verdun FR, Seifert B, Marincek B, Böhm T. Aortoiliac and lower extremities arteries assessed with 16-detector row CT angiography: prospective comparison with digital subtraction angiography. *Radiology*. 2005;236:1083-1093.

