

Revisión

Fisiología y anatomía quirúrgica de la arteria mamaria interna: ¿qué debe saberse durante su disección esquelizada?

Yoandy López-de la Cruz^{a,*}, Yolepsis F. Quintero-Fleites^a, Manuel S. Nafeh-Abi-Rezk^b y Elibet Chávez-González^c^a Departamento de Cirugía Cardiovascular, Cardiocentro de Santa Clara, Santa Clara, Cuba^b Departamento de Cirugía Cardiovascular, Hospital Hermanos Ameijeiras, La Habana, Cuba^c Departamento de Estimulación Cardíaca y Electrofisiología, Cardiocentro de Santa Clara, Santa Clara, Cuba

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 19 de diciembre de 2020

Aceptado el 15 de febrero de 2021

On-line el 19 de abril de 2021

Palabras clave:

Revascularización miocárdica

Arteria mamaria interna

Cavidad pleural

Pulmones

Nervio frénico

RESUMEN

Las características anatómicas e histológicas excepcionales de la arteria mamaria interna (AMI) la convierten en el hemoducto ideal para la cirugía de revascularización miocárdica. La técnica para su disección esquelizada solo con clips y tijeras, permite la construcción de un injerto con más flujo y la conservación de una mayor circulación colateral residual al esternón, con la consiguiente mejor protección ante futuros eventos isquémicos o infecciosos.

Sin embargo, ese método de disección es el menos practicado por ser más lento y no estar exento de lesiones de ramas laterales de la arteria. En las últimas décadas se han introducido varios adelantos tecnológicos en el procedimiento de disección de la AMI, pero las técnicas actuales no aprovechan sus especiales características morfofisiológicas para potenciar la obtención de un hemoducto con más flujo y con menos riesgo de lesión vascular y sangrado.

En esta revisión se comentan las particularidades de la anatomía quirúrgica de la AMI, y se proponen modificaciones a la técnica clásica de disección esquelizada con clips y tijeras para obtener un hemoducto de mayor calidad.

© 2021 Sociedad Española de Cirugía Cardiovascular y Endovascular. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Physiology and surgical anatomy of the internal mammary artery: What should be known during its skeletonized harvesting?

ABSTRACT

The exceptional anatomical and histological characteristics of the internal mammary artery make it the ideal graft for myocardial revascularization surgery. The technique for its skeletonized harvesting with only clips and scissors, allows the construction of a graft with more flow and the conservation of a greater residual collateral circulation to the sternum, with the consequent better protection against future ischemic or infectious events.

However, this harvesting method is the least practiced because it is slower and is not exempt from injuries to the lateral branches of the artery. In recent decades, several technological advances have been introduced in the internal mammary artery harvesting procedure, but current techniques do not take advantage of its special morphophysiological characteristics to enhance obtaining a hemoduct with more flow and with less risk of vascular injury and bleeding.

In this review, the peculiarities of the internal mammary artery surgical anatomy are discussed, and modifications of the classic skeletonized harvesting technique with only clips and scissors are proposed to obtain a higher quality graft.

© 2021 Sociedad Española de Cirugía Cardiovascular y Endovascular. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Keywords:

Myocardial revascularization

Internal mammary artery

Pleural cavity

Lungs

Phrenic nerve

Introducción

La disposición anatómica y la histología especial de la arteria mamaria interna (AMI), que la hacen muy resistente a la trombosis y arteriosclerosis, la han convertido en el principal injerto utilizado en cirugía de revascularización miocárdica (CRM).

Probablemente los primigenios intentos de utilizar el flujo de la AMI para irrigar otros órganos humanos se remontan a mediados

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: yoandylc@infomed.sld.cu (Y. López-de la Cruz).

de la década de 1940¹. Poco después se describieron los primeros procedimientos para su disección en cirugía cardíaca, cuando se introdujo su implantación en el miocardio del ventrículo izquierdo, como revolucionaria técnica en el tratamiento de la insuficiencia arterial coronaria.

La práctica de diseccionar únicamente la AMI (primero un segmento y posteriormente todo el vaso) fue iniciada por Arthur Vineberg en 1950², pero las variantes del término «esqueletización» no comenzaron a ser acuñadas probablemente hasta mediados de la década de 1970³. Durante esos años, algunas publicaciones mostraron breves descripciones del método de esqueletización mamaria, pero no fue hasta 1992 que James Cunningham detalló los principales fundamentos técnicos del procedimiento⁴ de la forma en que, esencialmente, aún se continúa ejecutando.

La preparación de la AMI solo con clips metálicos y tijeras es una variante de la disección esqueletizada en la que no se emplean dispositivos de cauterización térmica para la división y control del sangrado de las ramas laterales de la arteria, aunque probablemente sí se utilicen para la apertura de la fascia endotorácica y la identificación de las colaterales. Es una técnica que consume más tiempo, pero cuando se realiza con precisión disminuye considerablemente el riesgo de lesión del hemoducto y permite una mayor conservación de la anatomía de la pared torácica. Pocos grupos la practican, más aún después de la introducción del bisturí armónico en el procedimiento, pero debe considerarse una opción segura cuando no se dispone de esa tecnología, y la demora en la preparación del hemoducto no sea motivo de preocupación exagerada.

El adecuado conocimiento, no solo de las excepcionales características anatómicas e histológicas de la AMI, sino además de las principales variables fisiológicas que condicionan la dirección e intensidad de sus flujos, permite la introducción de sencillas modificaciones durante su disección esqueletizada, que facilitan la obtención de un hemoducto de mayor calidad.

Características anatómicas generales de la arteria mamaria interna

La AMI generalmente es única a cada lado, aunque un estudio⁵ encontró 2 troncos mamarios en el 1% de los casos estudiados. Parece ser bastante constante⁶, pero se ha reportado su ausencia o hipoplasia⁷. Tiene una disposición simétrica en su recorrido paralelo y bastante predecible, a una distancia variable de los bordes laterales del esternón⁸.

El diámetro de la AMI en adultos varía entre 1,5 y 2,4 mm⁹. Existe consenso en cuanto a que la arteria correspondiente al hemicuerpo del brazo dominante tiene mayor calibre y flujo^{10,11}. Se ha demostrado también una relación proporcional entre el índice de masa corporal y el calibre de la AMI¹², pero esas circunstancias no parecen tener consecuencias clínicas importantes¹³ ni influir sobre la técnica de disección.

Origen

En el 92-93% de la población, la AMI izquierda se origina en el aspecto anteroinferior de la primera porción (torácica) de la arteria subclavia, usualmente a 1-1,5 cm del borde medial de la primera costilla, en una disposición opuesta al tronco tirocervical y medial al músculo escaleno anterior¹⁴. En el 7-8% de los casos su origen se sitúa en la segunda porción de la subclavia. La AMI derecha nace en el primer segmento de la subclavia en el 88-96% de la población, y en la segunda porción, en 4-11% de los casos. El origen de la AMI en el tercer segmento (cervical) de la subclavia se encuentra en el 1-1,4% de los casos. Ambas arterias nacen como un único vaso en una proporción semejante de casos (70-95%); sin embargo, en el 4-30% de la población, la AMI se origina como parte de un tronco común

junto a otras ramas de la subclavia, como el tronco tirocervical y las arterias supraescapular y tiroidea inferior⁸. Autores^{5,7,14,15} han descrito diversas variantes anatómicas en el origen de la AMI, que en algunos casos lo sitúan incluso en el arco aórtico¹⁶.

Recorrido

En su recorrido inicial la AMI desciende sobre la cúpula pleural, para cruzar, después de un corto recorrido, el tercio esternal de la clavícula y el primer cartílago costal, antes de entrar en la cavidad torácica¹⁴. A nivel de la apertura torácica superior la AMI discurre en sentido inferomedial y posterior a la vena subclavia, y lateral al tronco venoso braquiocéfálico. Allí el nervio frénico cruza el vaso en sentido lateral-medial¹⁷, a una distancia de 0,5-4,4 cm de su nacimiento, para luego adosarse al pericardio y continuar su recorrido junto a la rama pericardiofrénica de la AMI^{18,19}.

Probablemente, en este primer segmento de la AMI es donde se hace más compleja su disección esqueletizada. Además de las estrechas relaciones anatómicas que establece la arteria con otras estructuras, la interposición de un pulmón hiperinsuflado o enfisematoso en el campo visual del cirujano, dificulta el cómodo abordaje al hemoducto y obliga, muchas veces, a deprimir y traumatizar la víscera con instrumentos que no han sido diseñados a ese efecto. Nuestro grupo ha confeccionado un separador retráctil de pulmón, de sencilla fabricación, que facilita el acceso a la AMI en esa zona, y ayuda a prevenir la apertura indeseada de la cavidad pleural²⁰⁻²².

Dentro del tórax, la arteria desciende casi verticalmente en una dirección lateral y a una distancia variable del margen externo del esternón; se ha situado en el rango 0,4-2,5 cm^{50,14}, pero nuestra práctica nos ha mostrado que la separación puede ser aún mayor. Un recorrido muy lateralizado de la AMI, no solo dificulta su disección, sino que propicia la apertura accidental del espacio pleural y obliga a una mayor elevación del hemiesternón. La AMI derecha discurre en un plano más cercano al esternón, y muchas veces se adosa a la pared torácica en un punto más distal de su recorrido, lo que puede causar su lesión accidental si se abre ampliamente la pleura, con electrocauterizador, por preferirse esa estrategia o para acceder a una arteria con un trayecto intrapleural.

La AMI cursa los aspectos posteriores de los primeros 6 cartílagos esternocostales y los correspondientes músculos intercostales internos antes de bifurcarse en sus ramas terminales, las arterias musculofrénica y epigástrica superior²³, en un 90-96% de las veces. Menos frecuentemente, en un 4-10% de los casos, el vaso termina además en una tercera rama, llamada diafragmática por algunos autores^{6-8,14}, al ser fuente de irrigación de dicho músculo²⁴.

La longitud de la AMI se encuentra en el rango 13,2-26 cm, con un promedio de 20,4 ± 2,1 cm (o menos según la literatura que se analice²⁵). La izquierda es ligeramente más larga que la derecha, aunque en al menos un estudio²⁴ sus mediciones fueron idénticas. Debe existir relación entre las longitudes del esternón y las arterias *in situ*²⁶, pero una investigación²⁷ no encontró correlaciones después de diseccionadas.

En general, en sentido caudo-cefálico, la AMI es acompañada por un par de venas homónimas, pero existen muchas variaciones en la disposición de los vasos mamarios⁵. En un estudio¹³ no se encontraron individuos sin venas mamarias, pero se evidenció la presencia de una sola hasta en el 19,5% y de 3 hasta en el 42% de los casos; otros hallazgos han motivado diversas clasificaciones de la distribución anatómica de dichos vasos^{12,28}. Prácticamente en cualquier espacio intercostal (EIC), pero generalmente a nivel del tercero o cuarto, ambas venas confluyen en el aspecto medial de la arteria. Habitualmente en el tercer EIC la vena cruza la arteria y hace el resto de su recorrido en su aspecto lateral, hasta su desembocadura

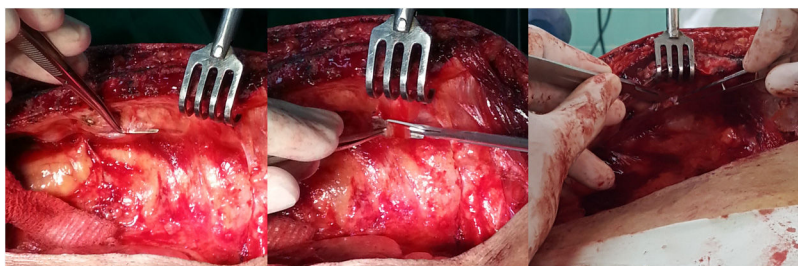


Figura 1. Una pinza de disección modificada facilita la separación de la pared, de la fascia endotorácica y de las fibras del músculo transverso del tórax. Cortar dichas estructuras con tijera o bisturí facilita la maniobra sin riesgo de sangrado o lesión térmica del hemoducto.

en el tronco venoso braquiocefálico¹⁴. Un estudio al menos ha descrito un recorrido retroesternal de una vena mamaria²⁹.

Hasta el tercer EIC la AMI está cubierta por fascia endotorácica y pleura parietal; su segmento distal discurre entre el músculo torácico transverso y los músculos intercostales^{5,13,14}. En esa localización, esas estructuras son prácticamente avasculares y puede descubrirse la arteria sin necesidad de emplear el electrocauterizador. Cortes con bisturí o tijera de Potts, mientras se separan de la pared con una pinza de disección con su extremo modificado (en ángulo recto), agilizan esta maniobra, sin riesgo de sangrado ni lesión del hemoducto³⁰ (fig. 1). En los primeros EIC, la fascia endotorácica es más delgada y su leve tracción permitirá su apertura sin necesidad de emplear instrumentos de corte.

En el 60% de la población, en el caso de la izquierda, y en el 76,7% en la derecha, el sitio habitual de terminación de la AMI es en la sexta costilla o en su correspondiente EIC^{24,29}. En una menor cantidad de individuos, el vaso puede culminar en el quinto o séptimo EIC³¹.

Ramas de la arteria mamaria interna

Un estudio de 7 cadáveres encontró un promedio de 18,5 ramas de la AMI, pero esa cifra puede ser muy variable. En teoría, en la mayoría de los EIC pueden emerger hasta 4 ramas de la arteria, hacia el esternón, el mediastino, el músculo pectoral y el músculo intercostal²⁵. A estas deben sumárseles otras arterias con sitios específicos de origen:

Rama accesoria o lateral (arteria torácica costal lateral)

Cuando está presente (1,5–15% de los casos^{32,33}), es una rama relativamente larga de la AMI, que nace a los 2,5 cm de su origen. Hace su recorrido en la superficie interior de la pared torácica anterolateral (sobre la línea axilar media) y culmina a nivel del cuarto, quinto o sexto EIC. Su diámetro a veces es equivalente al del tronco principal de la AMI³⁴. No se conoce su función; por su disposición se especula que puede estar relacionada con la irrigación de las mamas³². En su trayecto, sus ramas se comunican con las arterias intercostales anteriores y posteriores⁸.

Rama pericardiofrénica

Es la segunda rama de la AMI cuando está presente la arteria costal lateral³⁵. En el 9,5% de los individuos se origina en una rama tímica y en el 0,5%, desde la arteria subclavia. Cuando se origina en la AMI (89%) lo hace de su segmento inicial, habitualmente en los 2 primeros EIC³⁶. Acompaña al nervio frénico en su recorrido entre la pleura y el pericardio, hasta el diafragma, donde se anastomosa con las arterias musculofrénica³⁷ y frénica superior (rama de la aorta torácica descendente³⁸ o de la décima arteria intercostal, en el 58% de los casos en la rama derecha, y en el 49% en el caso de la izquierda³⁹), así como con la rama medial de la arteria frénica

inferior, que perfora el diafragma después de su nacimiento en la aorta abdominal o alguna de sus ramas (tronco celiaco, arterias renales, etc.³⁸)^{8,14,40}.

Rama tímica

Es una arteria delgada que se origina a nivel del primer EIC. Es más desarrollada en los primeros años de la vida¹⁴, o en individuos donde un timo patológico no degenera después de la infancia tardía. En la edad adulta irriga los remanentes de la glándula tímica⁸.

Ramas intercostales anteriores

Se originan en los primeros 5 o 6 EIC⁸. Nacen de la cara lateral de la AMI; después de un recorrido inicial en el espesor de su músculo intercostal interno correspondiente, se ramifican para formar la arteria intercostal anterior y supracostal. Inicialmente ambas ramas corren entre la pleura y los músculos intercostales, más adelante discurren en el espacio subcostal y se anastomosan con las arterias intercostales posteriores¹⁴, ramas de la aorta torácica⁸. Las 2 últimas arterias intercostales anteriores son ramas de la arteria musculofrénica.

Ramas esternales

Están distribuidas en cada EIC, y son la fuente principal de irrigación sanguínea del esternón. Generalmente forman un patrón de arcada, de los que se han reconocido cerca de 8 configuraciones¹⁴.

Ramas perforantes

Pueden originarse directamente desde el tronco de la AMI o desde las ramas esternales. Son más frecuentes entre el primer y tercer EIC^{5,41}. Las de mayor calibre se encuentra en el segundo y primer EIC, en ese orden. Toman una ruta dorsolateral a través del EIC y perforan el aspecto medial del músculo pectoral mayor; superficialmente se diseminan en el tejido subcutáneo. Contribuyen a la irrigación sanguínea del esternón, los músculos pectorales, las mamas (60% de su nutrición⁴¹) y la piel. Se conectan al sistema vascular de la arteria torácica lateral¹⁴. Una rama perforante gruesa, que generalmente irriga la zona más extensa de piel, es un hallazgo constante en la porción superior del esternón, generalmente en el primer o segundo EIC⁴¹.

Algunos autores señalan la presencia de ramas perforantes arteriovenosas, que discurren en estrecha relación con ambos tipos de vasos⁴². De igual modo, a lo largo de estas ramas se disponen vasos linfáticos perforantes que drenan en la cadena torácica interna⁴³. Es frecuente la lesión de esas estructuras vasculares durante la disección y división de las ramas que se originan en la cara lateral de la AMI. Durante la disección esquelética, un abordaje intencionado de las ramas, en 2 tiempos, facilita el control

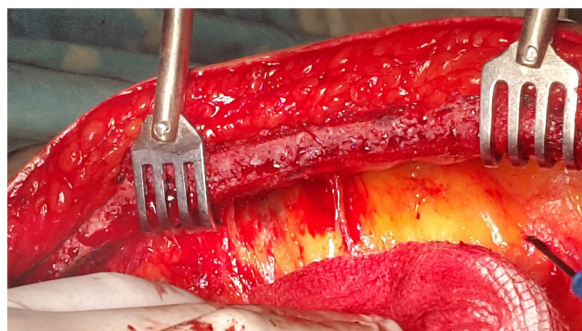


Figura 2. Rama pericárdica de la arteria mamaria interna izquierda.

de las que se adentran en la musculatura del EIC, disminuye el sangrado y reduce la duración del procedimiento⁴⁴.

Ramas mediastinales

Pequeñas, irrigan el tejido graso retroesternal, los nódulos linfáticos mediastinales y músculos de la pared torácica¹⁴. Se ha descrito al menos un caso en el que una rama mediastinal muy desarrollada se empleó para revascularizar el territorio izquierdo en forma semejante a la configuración en Y⁴⁵.

Ramas pericárdicas

Ramas de tamaño variable que irrigan el aspecto anterior del pericardio⁸. Son escasas, probablemente limitadas a una o 2 ramas, generalmente en el segmento medio de la arteria (fig. 2).

Rama xifoidea o diafragmática

Pequeña rama bilateral que en alrededor del 10% de los casos se origina directamente de la AMI, aunque algunos estudios en cadáveres señalan esta configuración en el 20-30% de los individuos⁴⁰. Menos frecuentemente, esta rama se origina de la arteria epigástrica superior. Las arterias de ambos lados forman un arco anastomótico delante del proceso xifoideo del esternón¹⁴, que frecuentemente se lesiona durante la esternotomía, ocasionando un sangrado molesto. En nuestra práctica hemos observado ramas terminales largas de la AMI, que se separan de la pared torácica, atraviesan la grasa prepericárdica y se adentran en el diafragma. Probablemente se trate de una variante anatómica no descrita y, por su tamaño, posiblemente irrigue varios órganos (fig. 3).

Arteria musculofrénica

Rama terminal lateral de la AMI. Inicialmente corre en el recesso esternocostal; luego discurre en sentido inferolateral y posterior al séptimo-noveno cartílago costal, donde origina las arterias intercostales anteriores, antes de atravesar el diafragma cerca de la novena costilla. A ese nivel se ramifica y anastomosa con la rama medial de la arteria frénica inferior (que al igual que su contraparte lateral proviene de la aorta abdominal o alguna de sus ramas³⁸), las 2 últimas arterias intercostales posteriores y la rama ascendente de la arteria ilíaca circunfleja profunda (rama lateral de la ilíaca externa^{46–48}), para terminar cerca del último EIC.

Arteria epigástrica superior

Rama terminal medial de la AMI. Corre a través del triángulo esternocostal (estructura fibrosa entre las porciones esternal y costal del diafragma, también llamado foramen de Morgagni³⁸) y penetra la vaina del músculo recto abdominal sobre el séptimo

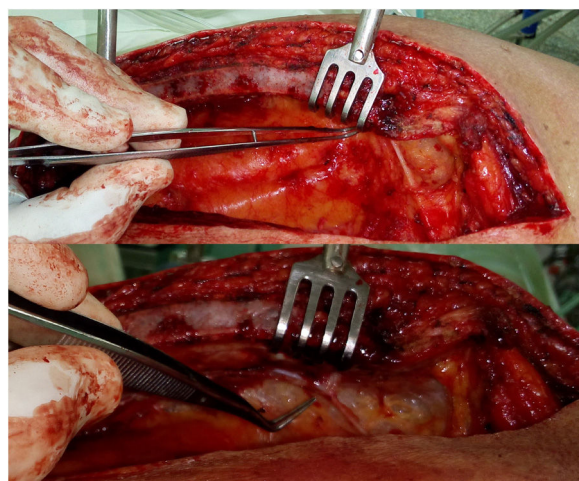


Figura 3. Rama terminal de la AMI cuyo recorrido no se corresponde con la configuración anatómica habitual de las arterias musculofrénica, epigástrica superior o diafragmática. Probablemente se trate de una ramificación no descrita previamente. Se encontró aproximadamente en el 4% de los pacientes de nuestra serie.

cartílago costal. Culmina al anastomosarse con la rama epigástrica inferior de la arteria ilíaca externa, usualmente por debajo del nivel del ombligo.

Circulación colateral residual al esternón después de la disección de la arteria mamaria interna

La irrigación sanguínea del esternón humano adulto se deriva solamente de su plexo periosteal, alimentado por ramas de la AMI. No existe un sistema de nutrición intramedular, comparable al de los huesos largos. Un estudio de 1988⁴⁹ falló en evidenciar flujo colateral al esternón que pudiera sustituir inmediatamente al proveniente de la AMI, con un 90% de disminución en la perfusión ósea después de su movilización. Sin embargo, una investigación más reciente²⁵ mostró que la irrigación del esternón se reduce en aproximadamente 13 y 25% cuando se diseccionan una y las 2 arterias mamarias, respectivamente.

Las principales ramas de la AMI que participan en la irrigación del esternón son las esternales y perforantes. El origen anatómico de estas puede estar, además, estrechamente relacionado con el de las ramas intercostales anteriores. Se han descrito 4 configuraciones de nacimiento y posterior ramificación de estas ramas¹⁴, de las cuales dependerá, en mayor o menor medida, la conservación de cierta irrigación colateral al hueso, después de la disección de la AMI.

Tipo I

Las 3 ramas se originan de un mismo tronco^{25,50}, después de un corto recorrido desde su nacimiento. Este patrón generalmente se observa a partir del cuarto EIC⁸. En este caso, si durante la disección esqueletizada de la AMI no se lesiona el punto de trifurcación, la irrigación esternal segmentaria es asumida por la aorta torácica, mediante la comunicación que se establece entre la arteria intercostal posterior y anterior, distribuida en el hueso por la rama esternal y perforante.

Tipo II

La rama esternal se origina como arteria independiente desde el aspecto medial de la AMI; un estudio²⁴ las encontró en un número de 5-9 en el lado derecho y 4-9 en el lado izquierdo. Las ramas perforante e intercostal anterior se originan de un tronco común,

semejante al tipo I. En este caso, la disección esquelizada lesiona la rama esternal, pero si no se afecta el punto de bifurcación del tronco común, la irrigación sanguínea del esternón se conserva también mediante la circulación colateral proveniente de la aorta torácica, distribuida en el hueso por la rama perforante.

Tipo III

Las ramas esternal y perforante se originan de un tronco común. La rama intercostal anterior nace como un vaso independiente, por lo que no existe comunicación entre esta y las ramas perforantes-esternales. En este caso la irrigación del hueso estará más comprometida después de la disección, pero si se conserva el punto de bifurcación del tronco común, en teoría, en algunos pacientes el flujo sanguíneo puede alcanzar el hueso de forma retrógrada por medio de la comunicación de las ramas perforantes con las arterias acromiotorácica y torácica lateral, ambas ramas de la arteria axilar^{8,51}.

Tipo IV

Las 3 arterias nacen como ramas independientes. En este caso, solo las ramas perforantes podrían conservar la irrigación esternal si se establecen las conexiones señaladas en la anterior configuración. En ausencia de esas anastomosis, los patrones de disposición anatómica III y IV constituyen un factor de riesgo para complicaciones esternales, aun con disección esquelizada de la AMI¹¹.

Fisiología de la arteria mamaria interna: repercusión de la confluencia y competencia de flujos

La AMI es una arteria inusual, alrededor de la que se establecen múltiples conexiones anastomóticas que permiten la confluencia, en su luz, de flujos provenientes de varias ramas de la aorta: arteria subclavia, arterias intercostales posteriores, arterias frénicas y arteria iliaca externa⁸. Lo que ocurre fisiológicamente en la AMI, es uno de los mejores exponentes, en el organismo humano, de la repercusión de la competencia sobre la intensidad y la dirección del flujo a través de una arteria. En esencia, al sustraer del análisis parámetros generalmente constantes como π y la viscosidad de la sangre, la ley de Poiseuille establece que, la cuantía del flujo está directamente condicionada por el radio elevado a la cuarta potencia y la diferencia de presión en ambos extremos del vaso; a su vez, la contrarresta la longitud del segmento vascular que recorre el fluido. El comportamiento de estos parámetros en la AMI de un ser humano, determina que su flujo nativo sea predominantemente sistólico⁵², anterógrado, proveniente esencialmente de la subclavia, lo que no impide que, en sentido retrógrado se le contrapongan otros de menor intensidad⁵³, originados en diversos sistemas arteriales y que confluyen en las arterias musculofrénica y epigástrica superior.

En la competencia de flujos que se establece en la luz de la AMI, prevalece, en el tórax, el que se origina en la arteria subclavia. En ese punto, la presión supera a la del segmento distal de la arteria; además, el vaso tiene más calibre y su longitud hasta el sexto EIC solo sobrepasa ligeramente los 20 cm, lo que ofrece menor resistencia. Más del 70% del flujo retrógrado de la AMI corresponde a la rama musculofrénica⁵⁴ por sus múltiples conexiones con varios sistemas arteriales, pero está sometido a mayores resistencias por ser vasos de mayor longitud (originados en la aorta o en la arteria iliaca externa)⁵⁵ y en ocasiones, menor calibre. En el caso de la arteria epigástrica superior, la conexión con su homónima inferior, en cerca del 70% de los casos, se realiza a través de 2 o más vasos terminales de alta resistencia, cuyos diámetros han disminuido a la mitad durante su recorrido desde la distante región inguinal⁵⁴.

Es difícil precisar con exactitud el valor del flujo fisiológico de la AMI; según la mencionada ley depende, al menos, del segmento de la arteria en que se mida. Sin embargo, 2 estudios^{56,57} hallaron que, independientemente de la técnica de disección empleada, de la administración o no de vasodilatadores y del sitio escogido para su cuantificación, la intensidad del flujo *in situ* disminuye considerablemente cuando se han ligado todas sus ramas laterales, pero permanecen permeables las terminales (tabla 1). El diseño de esas investigaciones permitió, además, descartar pequeñas variaciones en el diámetro de la arteria, como causa determinante de sus hallazgos por lo que, probablemente, deba asumirse que la diferencia en el gradiente de presión a lo largo del vaso, sea el principal factor causante de la disminución de su flujo durante la disección del hemoducto por las técnicas tradicionales.

En enfermedades oclusivas del eje aorto-ilíaco^{58,59} aumenta el diámetro y flujo a través de la AMI para suplir la deficiente irrigación de los miembros inferiores^{60,61}. En cambio, en presencia de oclusión proximal de la arteria subclavia, el flujo de la AMI se invierte y participa en la circulación colateral del territorio del miembro superior distal a la estenosis⁶². El fundamento fisiopatológico de ambas respuestas es la disminución del gradiente de presión en la vía de Winslow^{63,64}, lo que remarca la importancia de la competencia en la intensidad y dirección del flujo de la AMI. Cuando desaparece dicha competencia, su flujo retrógrado puede también ser utilizado para revascularizar coronarias enfermas^{65,66}. Estudios recientes^{67,68} lo han cuantificado en el rango 70-105 ml/min.

Modificación de la fisiología de la arteria mamaria interna para mejorar su flujo durante su disección

Entre las principales metas de los cirujanos, durante la disección de la AMI, deben estar la obtención de un hemoducto con una longitud y diámetro máximos, así como un flujo suficiente para proveer adecuada perfusión al miocardio isquémico⁴. A comienzos de la década de 1970 se encontró que realizar un injerto con una AMI con poco flujo podía causar un «potencial desastre»⁶⁹. Por tanto, su elevación fue la preocupación más temprana de los cirujanos cardíacos³⁰ y el primer esfuerzo para lograrlo fue, probablemente, la administración de papaverina durante la disección del hemoducto, en 1971⁷⁰.

Desde entonces se han empleado diversos métodos para mejorar el flujo libre del hemoducto⁷¹. Los resultados no siempre han sido los esperados³⁰ probablemente porque, de las variables que determinan su magnitud, solo se ha intentado modificar el diámetro de la arteria, durante su disección. Como ya se comentó, 2 estudios^{56,57} demostraron que, independientemente de la técnica de disección, empleo de bisturí armónico o administración de papaverina, el flujo de la AMI disminuye durante su preparación, si permanecen permeables sus ramas terminales. En teoría, la adición de un vasodilatador aumentaría el flujo de una arteria, pero en el caso particular de la AMI, más diámetro no siempre significa más flujo², pues la resistencia que se le contraponen, en su posición nativa, parece ser un factor más determinante.

Según la ley de Poiseuille, el aumento del gradiente de presión a lo largo del vaso o la disminución de su longitud, provocarían un aumento de su flujo. Sin embargo, según nuestro conocimiento, nunca se han intentado modificar esos parámetros durante la disección de la AMI. Por una parte, al parecer todos los cirujanos consideran imprescindible la preparación de la arteria con su extremo distal permeable. Esa estrategia no parece tener ventaja hemodinámica alguna; al contrario, permite la persistencia de una competencia de flujos que disminuye el estrés parietal por cizallamiento (EPC), que es uno de los principales activadores fisiológicos de la enzima sintetasa de óxido nítrico (ON) a nivel endotelial⁷². Esta circunstancia es la que probablemente explica la disminución

Tabla 1

Al menos 2 estudios han mostrado que el flujo *in situ* de la AMII disminuye después de la división de todas las ramas laterales, si las ramas terminales permanecen permeables

Urso et al., 2008 (sin empleo de papaverina)		
Medición del flujo	AMII esquelizada con electrocauterio bipolar	AMII esquelizada con bisturí ultrasónico
Después de diseccionar los 3 primeros centímetros	17,7 ± 9,1	18,5 ± 10,5
Al final de la disección, antes de dividir la arteria	3,9 ± 7,9	3,4 ± 7,2
Satdhabudha et al., 2017		
Medición del flujo (en tercio medio de la arteria)	AMII pediculada	AMII semiesquelizada
Al inicio de la disección	11,1 ± 5,2	12,3 ± 5,6
Al final de la disección, antes de dividir la arteria, después de 5 min con papaverina tópica	6,7 ± 3,0	6,2 ± 2,7

AMII: arteria mamaria interna izquierda.

del flujo nativo de la AMI, cuando se ejecutan las técnicas clásicas de disección.

Por otra parte, el acortamiento intencional de la longitud de la arteria aparentemente está fuera de toda lógica, aunque probablemente conllevaría a un aumento importante de su flujo. En la era del máximo desarrollo de la revascularización arterial total, un precepto básico de la cirugía coronaria es la obtención de arterias mamarias con la mayor longitud permisible, por lo que, posiblemente, los cirujanos consideran imposible modificar esa variable en beneficio del flujo del hemoducto.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, el término anatómico de la AMI ciertamente se sitúa en la vecindad del sexto EIC, pero el límite funcional de la vía de Winslow, en sentido céfalo-caudal, está localizado más distalmente. En 2 puntos, probablemente situados en la pared abdominal, los flujos que recorren la vía en sentido caudo-céfalo (incluyendo los que confluyen en la arteria musculofrénica, aunque no forme parte de la mencionada vía) son lo suficientemente intensos como para contrarrestar totalmente, el flujo que se origina en la subclavia, y viceversa. Allí se encuentran los límites funcionales de la importante vía de circulación colateral sistémica, en uno y otro sentido.

Por lo tanto, debido a sus características anatómicas únicas, el análisis del comportamiento del enunciado de Poiseuille en la AMI, no debe reducirse solamente al valor que toman sus parámetros entre el origen del vaso y el sexto EIC. Si se adapta esta ley de la física a lo que ocurre en un hemoducto vivo, sus preceptos deben aplicarse también a las ramas distales a su bifurcación final —aunque excedan su límite anatómico— mientras la dirección del flujo sanguíneo conserve el mismo sentido. Independientemente de que esos segmentos habitualmente tienen poca utilidad quirúrgica, ofrecen gran resistencia al flujo sistólico de la «porción torácica» de la arteria, ya sea por su longitud extra, su escaso diámetro o la confluencia de varios flujos retrógrados en sus lúmenes (menos gradiente de presión).

Una maniobra sencilla le permite al cirujano modificar, en su beneficio, los parámetros que determinan la magnitud del flujo de la AMI durante su disección: la oclusión distal de la arteria al inicio del procedimiento (fig. 4). La colocación de un clamp vascular o el clipado de la arteria antes de su bifurcación, sin necesidad de heparinizar al paciente⁷³, altera las variables hemodinámicas del vaso y desencadena una serie de eventos muy ventajosos para la salud del hemoducto. Con esta estrategia, no solo se elimina casi por completo la competencia, en sentido caudo-céfalo, que ofrece la vía de Winslow —y la arteria musculofrénica— al flujo anterógrado de la AMI (aumento del gradiente de presión) sino que, además, disminuye la resistencia al mismo al acortarse en varios centímetros la longitud funcional del vaso, sin afectarse su longitud anatómica, necesaria para la revascularización.

Esta nueva situación anatómica permite, desde el inicio de la disección, un aumento de los flujos que convergen a ambos lados de la oclusión, aunque las condiciones hemodinámicas favorecen

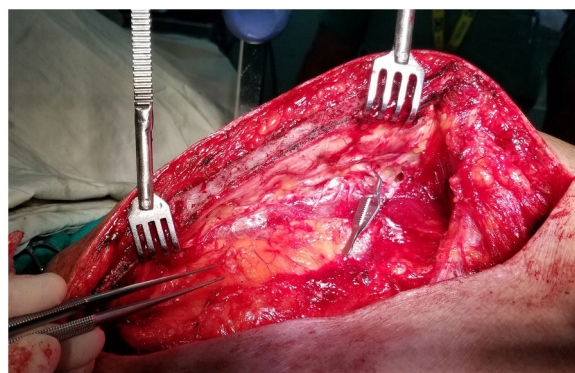


Figura 4. Oclusión distal de la AMI al inicio de su disección.

un mayor incremento del que se origina en la arteria subclavia. Un flujo más intenso aumenta el EPC en la luz de la AMI, lo que provoca un incremento continuo de la producción de ON durante un período de 2 h⁷⁴. En este escenario, además, según lo establecido por la ley de la cuarta potencia⁷⁵, un pequeño aumento en el diámetro de la arteria incrementará considerablemente su flujo con la consiguiente favorable repercusión en la calidad del injerto.

Conclusiones

La AMI es la única arteria periférica elástica en el organismo humano, lo que le permite comportarse como un hemoducto vivo en la CRM, adecuando su diámetro y flujo a las necesidades miocárdicas. Sus características histológicas excepcionales, que la hacen prácticamente inmune a la arteriosclerosis, y la elevada disponibilidad de ON, sulfato de heparina y factor tisular activador del plasminógeno en su luz, la convierten en el hemoducto ideal. En proporción a su tamaño, es probablemente la arteria que irriga la mayor cantidad de órganos, pero la gran colateralidad que la rodea permite su sacrificio sin temor de isquemia importante. Eso, además, condiciona especialmente las características de su torrente sanguíneo, pues al recibir irrigación de varios sistemas arteriales, la dirección y cantidad de ese flujo dependerá de la competencia que se establezca entre estos.

La modificación precoz de las variables que se oponen al flujo sistólico de la AMI, como método sencillo de obtención de un hemoducto de mayor calidad, es un terreno casi inexplorado en la CRM, lo que resulta curioso, pues solo precisa la oclusión distal de la arteria al inicio de su preparación. Un estudio aleatorizado controlado recientemente concluido por nuestro grupo (manuscrito en preparación) demostró que los cambios anatómicos y fisiológicos que se establecen a partir de esa sencilla maniobra, no solo provocan un mayor aumento del flujo y diámetro de la AMI, sino que probablemente facilitan la disección, disminuyen las lesiones de ramas

laterales y el sangrado, reducen la incidencia de espasmo y favorecen una mayor irrigación y protección antibiótica y anti-ischémica del esternón y el miocardio (por circulación colateral coronaria de origen extra-cardíaco) mediante un desvío forzoso del flujo de la AMI durante su preparación.

Financiación

Los autores declaran no haber recibido financiación para la realización de este trabajo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- López de la Cruz Y, William Polk Longmire Jr. y los primeros 60 años de la cirugía de puentes aorto-coronarios. *CorSalud*. 2018;10:158–63.
- López de la Cruz Y. Some considerations regarding the history of internal thoracic artery harvesting. *J Card Surg*. 2020;35:2110, <http://dx.doi.org/10.1111/jocs.14679>.
- Tector AJ, Davis L, Gabriel R, Gale H, Singh H, Flemma R. Experience with Internal Mammary Artery Grafts in 298 Patients (Discussion). *Ann Thorac Surg*. 1976;22:515–9.
- Cunningham JM, Gharavi MA, Fardin R, Meek RA. Considerations in the skeletonization technique of internal thoracic artery dissection. *Ann Thorac Surg*. 1992;54:947–50.
- Murray ACA, Rozen WM, Alonso-Burgos A, Ashton MW, Garcia-Tutor E, Whitaker IS. The anatomy and variations of the internal thoracic (internal mammary) artery and implications in autologous breast reconstruction: Clinical anatomical study and literature review. *Surg Radiol Anat*. 2012;34:159–65, <http://dx.doi.org/10.1007/s00276-011-0886-7>.
- Paliouras D, Rallis T, Gogakos A, Asteriou C, Chatzinikolaou F, Georgios T, et al. Surgical anatomy of the internal thoracic arteries and their branching pattern: A cadaveric study. *Ann Transl Med*. 2015;3:212, <http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2305-5839.2015.09.03>.
- Paraskevas G, Natsis K, Tzika M, Ioannidis O, Kitsoulis P. Abnormal origin of internal thoracic artery from the thyrocervical trunk: surgical considerations. *J Cardiothorac Surg*. 2012;7:63, <http://dx.doi.org/10.1186/1749-8090-7-63>.
- Sajja L R, Mannam G. Internal thoracic artery: Anatomical and biological characteristics revisited. *Asian Cardiovasc & Thorac Ann*. 2015;23:88–99, <http://dx.doi.org/10.1177/0218492314523629>.
- Barreiro GC, Snider CC, Galvão FHF, Baptista RR, Kasai KE, dos Anjos DM, et al. A New Pedicled Internal Mammary Osteomyocutaneous Chimeric Flap (PIMOC) for Salvage Head and Neck Reconstruction: Anatomic Study and Clinical Application. *Sci Rep*. 2017;7:12960, <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-13428-7>.
- Ji Q, Xia LM, Shi YQ, Ma RH, Shen JQ, Lai H, et al. Mid-term graft patency of right versus left internal mammary artery as arterial conduit usage for left anterior descending artery revascularisation: Insights from a single-centre study of propensity-matched data. *Int J Surg*. 2017;48:99–104.
- Gatti G, Castaldi G, Morosin M, Tavcar I, Belgrano M, Benussi B, et al. Double versus single source left-sided coronary revascularization using bilateral internal thoracic artery graft alone. *Heart and Vessels*. 2018;33:113–25, <http://dx.doi.org/10.1007/s00380-017-1040-1>.
- Cook JA, Tholpady SS, Momeni A, Chu MW. Predictors of internal mammary vessel diameter: A computed tomographic angiography-assisted anatomic analysis. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2016;69:1340–8.
- Hefel L, Schwabegger A, Ninkovid M, Wechselberger G, Moriggl B, Waldenberger P, et al. Internal mammary vessels: Anatomical and clinical considerations. *Br J Plast Surg*. 1995;48:527–32.
- Berdajs D, Turina MI. *Coronary Bypass Grafts En: Operative Anatomy of the Heart*. Berlin: Springer; 2011. p. 109–59.
- Nuqali A, Shafiq Q, Sheikh M. Dual Anomalous Origins of the Thyrocervical Trunk and Left Internal Mammary Artery. *JACC*. 2016;9:e105–6.
- Pandey NN, Sharma A, Shaw M, Kumar S. Anomalous Left Internal Mammary Artery: A Cardiologist's Conundrum. *Ann Thorac Surg*. 2019;107:e63, <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2018.06.063>.
- Goyal N, Jain A. Variant communication of phrenic nerve in neck. *Surg Radiol Anat*. 2019;41:151–2, <http://dx.doi.org/10.1007/s00276-018-2123-0>.
- Ghali MGZ, Srinivasan VM, Jea A, Slopis JM, McCutcheon IE. Neurofibromas of the Phrenic Nerve: A Case Report and Review of the Literature. *World Neurosurg*. 2016;88:237–42.
- Auchincloss HG, Donahue DM. Prevention and Management of Nerve Injuries in Thoracic Surgery. *Thorac Surg Clin*. 2015;25:509–15.
- López-de la Cruz Y, Pedraza-González C, Quintero-Fleites YF, Mirabal-Rodríguez R, Bermúdez-Yera GJ, Allende-González A, et al. Beneficios inmediatos de la utilización de un separador pulmonar flexible durante la disección esquelizada de la arteria mamaria interna. *Cir Cardio*. 2019;26:98–103, <http://dx.doi.org/10.1016/j.circv.2018.07.005>.
- López-de la Cruz Y, Pedraza-González C, Quintero-Fleites YF, Mirabal-Rodríguez R, Bermúdez-Yera GJ, Allende-González A, et al. Primer separador retráctil de pulmón para facilitar la disección extrapleural de la arteria torácica interna. *CorSalud*. 2019;11:211–8.
- López de la Cruz Y. A propósito del primer separador retráctil de pulmón para facilitar la disección extrapleural de la arteria torácica interna. *Respuesta. Cor-Salud*. 2020;12:239–42.
- Long J, Yang X, Zhou X, Wang W. All Kinds of Commonly Used Tissue Flaps. En: Zhou X et al, editor. *Oncoplastic Surgery Plastic and Reconstructive Surgery*. Singapore: Springer Nature; 2018. p. 73–140.
- Gupta M, Sodhi L, Sahni D. The branching pattern of Internal Thoracic Artery on the anterior chest wall. *J Anat Soc India*. 2002;51:194–8.
- Spindler N, Kaatz F, Feja C, Etz C, Mohr FW, Bechmann I, et al. Anatomic study of the vascular perfusion of the sternum and its clinical relevance in deep sternal wound infection. *GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW*. 2017;6:8, <http://dx.doi.org/10.3205/ipsr000111>.
- Lev-Ran O, Matsa M, Ishay Y, Shabtai A, Vodonos A, Sahar G. Retroaortic right internal thoracic artery grafting of circumflex artery targets. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2015;23:543–51, <http://dx.doi.org/10.1177/0218492315573360>.
- Chavanon O, Romary B, Martin C, Chaffanjon P. Anatomical study of the internal thoracic arteries: Implications for use in coronary artery bypass graft surgery. *Surg Radiol Anat*. 2016;38:1135–42, <http://dx.doi.org/10.1007/s00276-016-1678-x>.
- Schipper R, Lobbes M, Dikmans R, Beets-Tan R, Smidt M, Boetes C. Bilateral analysis of the cross-sectional area of the internal mammary arteries and veins in patients with and without breast cancer on breast magnetic resonance imaging. *Insights Imaging*. 2013;4:177–84, <http://dx.doi.org/10.1007/s13244-012-0214-8>.
- Casadesús JM, Aguirre F, Carrera A, Boadas-Vaello P, Serrando MT, Reina F. Diagnosis of arterial gas embolism in SCUBA diving: Modification suggestion of autopsy techniques and experience in eight cases. *Forensic Sci Med Pathol*. 2018;14:18–25, <http://dx.doi.org/10.1007/s12024-018-9951-4>.
- López de la Cruz Y. In the internal thoracic artery, more diameter does not always mean more flow. *Ann Card Anaesth*. 2021;24:125–6, <http://dx.doi.org/10.4103/aca.ACA.118.20>.
- Skandalakis LJ, Skandalakis JE. *Breast. En: Surgical Anatomy and Technique: A Pocket Manual*. New York: Springer Science + Business Media; 2014. p. 91–112.
- Smelt JLC, Toufektzian L, Pilling J, Routledge T. A lateral costal artery complicating video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) pleurectomy. *Surg Radiol Anat*. 2017;39:921–3, <http://dx.doi.org/10.1007/s00276-016-1790-y>.
- Góngora E, Sundt T. *Myocardial Revascularization with Cardiopulmonary Bypass*. En: Cohn LH, editor. *Cardiac Surgery in the Adult*. New York: McGraw-Hill; 2008. p. 599–632.
- Schickerling JA, van Niekerk K, Wessels Q, du Plessis A. Reappraisal of the anatomy of the accessory internal thoracic artery. *Anatomy Journal of Africa*. 2019;8:1325–9.
- Stoller M, Seiler C. Effect of Permanent Right Internal Mammary Artery Closure on Coronary Collateral Function and Myocardial Ischemia. *Circ Cardiovasc Interv*. 2017;10:e004990, <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.116.004990>.
- Stoller M, de Marchi SF, Seiler C. Function of Natural Internal Mammary-to-Coronary Artery Bypasses and Its Effect on Myocardial Ischemia. *Circulation*. 2014;129:2645–52, <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.008898>.
- Sajja LR, Mannam G, Dandu SBR, Sompalli S. Reduction of sternal wound infections in diabetic patients undergoing off-pump coronary artery bypass surgery and using modified pedicle bilateral internal thoracic artery harvest technique. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2012;144:480–5, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.03.024>.
- Bravo Iñiguez CE, Perez Martinez M, Wiener DC, Jaklitsch MT. Surgery of the diaphragm: A deductive approach. En: Sellke FW, del Nido P, Swanson SJ, editors. *Sabiston & Spencer surgery of the chest*. 9th ed. Philadelphia: Elsevier; 2016. p. 526–42.
- Loukas M, Louis RG Jr, Wartmann CT, Tubbs RS, Esmaeili E, Bagenholm AC, et al. Superior phrenic artery: An anatomic study. *Surg Radiol Anat*. 2007;29:97–102, <http://dx.doi.org/10.1007/s00276-006-0172-2>.
- Shahoud JS, Burns B. *Anatomy, Thorax Internal Mammary (Internal Thoracic) Arteries* 2019. 2019.
- Shin D, Sung KW, Fan KL, Park TH, Song SY, Roh TS, et al. Expanding the use of internal mammary artery perforators as a recipient vessel in free tissue transfer: An anatomical analysis by computed tomography angiography in breast cancer patients. *Microsurgery*. 2019;39:5019–114, <http://dx.doi.org/10.1002/micr.30446>.
- Okumura K, Hashikawa K, Sakakibara S, Onishi H, Terashi H. A Study of Internal Thoracic Arteriovenous Principal Perforators by Using Multi-detector Row Computed Tomography Angiography. *Plasty*. 2016;16:87–95.
- Barros ACSD, Mori LJ, Nishimura D, Jacomo AL. Surgical anatomy of the internal thoracic lymph nodes in fresh human cadavers: Basis for sentinel node biopsy. *World J Surg Oncol*. 2016;14:135, <http://dx.doi.org/10.1186/s12957-016-0897-2>.
- López-De la Cruz Y, Quintero Fleites YF. Propuesta de nuevo método para la disección esquelizada de la arteria mamaria interna: Fundamentos históricos y anatómo-fisiológicos. *CorSalud*. 2018;10:230–41.
- Galych S, Solomka S, Batsak B, Rudenko A, Starodub U. Internal mammary artery with side-branch. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2015, <http://dx.doi.org/10.1177/0218492315607150>.

46. Fukui S, Tanaka H, Kobayashi K, Kajiyama T, Mitsuno M, Yamamura M, et al. Development of Collaterals to the Spinal Cord after Endovascular Stent Graft Repair of Thoracic Aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2016;52:801–7.
47. Wilting J, Chao TI. Integrated Vascular Anatomy. En: Lanzer P, editor. *PanVascular Medicine*. Berlin: Springer-Verlag; 2015. p. 193–241.
48. Yaginuma G, Sakurai M, Meguro T, Ota K, Abe K. Deep Circumflex Iliac Artery as a Free Arterial Graft for Myocardial Revascularization. *Ann Thorac Surg*. 2000;69:641–2.
49. Seyfer AE, Shriver CD, Miller TR, Graeber GM. Sternal blood flow after median sternotomy and mobilization of the internal mammary arteries. *Surgery*. 1988;104:899–904.
50. Itezereto AM, Gomes WJ, Prates JC. Internal thoracic artery: Sternal branches and their importance in thoracic surgery. *J Morphol Sc*. 2012;29:44–8.
51. Cheng K, Rehman SM, Taggart DP. A Review of Differing Techniques of Mammary Artery Harvesting on Sternal Perfusion: Time for a Randomized Study? *Ann Thorac Surg*. 2015;100:1942–53.
52. Gülcan Ö, Cihan HB, Türköz R. Effect of Internal Thoracic Artery Side Branches On Distal Flow. *İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*. 2005;12:67–70.
53. Hernandez Rosa J, Sherif RD, Torina PJ, Harmaty MA. Use of both antegrade and retrograde internal mammary vessels in the bipedicle deep inferior epigastric perforator flap for unilateral breast reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2017;70:47–53.
54. González-Santos JM, Bastida E, Riesgo M, Vallejo JL, Albertos JV, Fortuny R, et al. Flow Capacity of the Human Retrograde Internal Mammary Artery: Surgical Considerations. *Ann Thorac Surg*. 1990;50:360–6.
55. Handa T, Orihashi K, Nishimori H, Yamamoto M. Maximal blood flow acceleration analysis in the early diastolic phase for aortocoronary artery bypass grafts: A new transit-time flow measurement predictor of graft failure following coronary artery bypass grafting. *Surg Today*. 2016;46:1325–33, <http://dx.doi.org/10.1007/s00595-016-1325-5>.
56. Urso S, Alvarez L, Sádaba R, Greco E. Skeletonization of the internal thoracic artery: A randomized comparison of harvesting methods. *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2008;7:23–6, <http://dx.doi.org/10.1510/icvts.2007.168831>.
57. Satdhabudha O, Noppawinyoowong N. A randomized comparison of flow characteristics of semiskeltonized and pedicled internal thoracic artery preparations in coronary artery bypass. *J Cardiothorac Surg*. 2017;12:28, <http://dx.doi.org/10.1186/s13019-017-0589-1>.
58. Ahmed S, Raman SP, Fishman EK. CT angiography and 3D imaging in aortoiliac occlusive disease: Collateral pathways in Leriche syndrome. *Abdom Radiol*. 2017;42:2346–57, <http://dx.doi.org/10.1007/s00261-017-1137-0>.
59. Meric M, Oztas DM, Ugurlucan M. Internal thoracic artery: A major collateral supply in case of Leriche syndrome. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2019.06.096>.
60. Roques F, Cibe M, Sanchez B, Pétoin S, Birdi I, Nashef SAM, et al. Anatomic feasibility of creating an inferior epigastric arterio-venous fistula to develop the internal thoracic artery with a view to coronary grafting. *Surg Radiol Anat*. 2003;25:81–5, <http://dx.doi.org/10.1007/s00276-003-0096-z>.
61. Meira Balzan HF, Lube Battilani RV, Celeste Mangili O, Franchetti M, Celeste Mangili L, de Paiva Maia J, et al. Prevalence of Atherosclerotic Lesions in the Left Internal Thoracic Artery Evidenced by Selective Angiographic Findings. *Int J Cardiovasc Sci*. 2018;31:97–106, <http://dx.doi.org/10.5935/2359-4802.20170099>.
62. Blanco PJ, Müller LO, Watanabe SM, Feijóo RA. Computational modeling of bloodflow steal phenomena caused by subclavian stenoses. *J Biomech*. 2016;49:1593–600.
63. Babu SNM, Chacko S, Irodi A, Joseph E, Joseph G. Winslow pathway collaterals in Takayasu arteritis with middle aortic syndrome. *IJH Cardiovascular Case Reports (CVCR)*. 2019;3:39–43, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhccr.2019.01.001>.
64. Cheng AKC, Wong SC, Wong WPM, Li YL, Cheung SCW. Winslow's pathway. *Abdom Radiol*. 2019;44:370–1, <http://dx.doi.org/10.1007/s00261-018-1679-9>.
65. Nezic D, Antonic Z, Bojovic Z, Milicic M, Boricic M, Kecmanovic V, et al. How to use the left internal thoracic artery which has been damaged during harvesting? *Ann Thorac Surg*. 2012;94:269–71, <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.12.029>.
66. Nezic D, Antonic Z, Knezevic A, Bojovic Z. Split, in situ left internal thoracic artery to revascularize left anterior descending coronary artery system. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2011;142:1579–80, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2011.05.012>.
67. Nezic DG, Bojovic ZR, Milicic MD, Antonic ZD, Boricic MI, Micovic SV. Mid-Term Patency of the Inverted Left Internal Thoracic Artery Conduit. *J Card Surg*. 2014;29:790–3, <http://dx.doi.org/10.1111/jocs.12424>.
68. Tutun U, Cicekcioglu F, Parlar AI, Tola M, Ulus AT, Katircioglu SF. A New Technique for the Old Arterial Graft: Internal Thoracic Artery. *J Card Surg*. 2008;23:159–62, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-8191.2007.00530.x>.
69. Flemma RJ, Singh HM, Tector AJ, Lepley D Jr, Frazier BL. Comparative Hemodynamic Properties of Vein and Mammary Artery in Coronary Bypass Operations. *Ann Thorac Surg*. 1975;20:619–27.
70. López de la Cruz Y, Nafeh Abi-Rezk M, Betancourt Cervantes J. Diseccción de la arteria mamaria interna en cirugía cardíaca: Una historia no siempre bien contada. *CorSalud*. 2020;12:64–76.
71. Chandran R, Sreedhar R, Gadhinglajkar S, Dash P, Karunakaran J, Pillai V. Combined effect of left stellate ganglion blockade and topical administration of papaverine on left internal thoracic artery blood flow in patients undergoing coronary revascularization. *Ann Card Anaesth*. 2020;23:170–6.
72. Bruning RS, Sturek M. Benefits of Exercise Training on Coronary Blood Flow in Coronary Artery Disease Patients. *Prog Cardiovasc Dis*. 2015;57:443–53.
73. López-de la Cruz Y, Quintero-Fleites Y. Internal mammary artery harvesting with its distal end occluded. *Chin Med J (Engl)*. 2019;132:1385–6, <http://dx.doi.org/10.2174/1874192401509010105>.
74. Wang YX, Liu HB, Li PS, Yuan WZ, Liu B, Liu ST, et al. ROS and NO Dynamics in Endothelial Cells Exposed to Exercise-Induced Wall Shear Stress. *Cell Mol Bioeng*. 2019;12:107–20, <http://dx.doi.org/10.1007/s12195-018-00557-w>.
75. Bueno J, Flors L, Mejía M. Anomalías congénitas de las arterias pulmonares: espectro de hallazgos en tomografía computarizada. *Radiologia*. 2017;59:209–17.



BIOMED



unidix

Especialistas en cirugía cardiovascular

desde 1977 al cuidado de tu salud



91 803 28 02



info@biomed.es