

Propuesta de nuevo método para la disección esqueletizada de la arteria mamaria interna: Fundamentos históricos y anátomo-fisiológicos

MSc. Dr. Yoandy López-De la Cruz[✉] y MSc. Dr. Yolepsis F. Quintero Fleites

Servicio de Cirugía Cardiovascular, Hospital Universitario Cardiocentro Ernesto Che Guevara. Santa Clara, Villa Clara, Cuba

Full English text of this article is also available

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 18 de abril de 2018
Aceptado: 24 de mayo de 2018

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Abreviaturas

AMI: arteria mamaria interna
EIC: espacio intercostal

RESUMEN

En los últimos 30 años se ha acrecentado el interés de los cirujanos cardiovasculares por la disección esqueletizada de la arteria mamaria interna, sobre todo estimulado por su empleo bilateral para lograr la revascularización arterial total en la mayor cantidad de pacientes; lo que, en teoría, se acompaña de una mayor incidencia de infecciones profundas de la herida esternal. Desde 1992, prácticamente no ha variado la técnica clásica de disección esqueletizada de la mamaria. Quizás los únicos cambios importantes han sido la introducción del cauterizador armónico alrededor del año 2000 y la tendencia de algunos escasos grupos de intentar conservar indemne el plexo venoso retroesternal. Después de un profundo análisis de los fundamentos históricos, anatómicos y fisiológicos sobre los que se sustenta este procedimiento, y basados en la práctica en más de 100 pacientes en un período de dos años, se presentan modificaciones a la técnica clásica de disección esqueletizada de la arteria mamaria interna que permiten la obtención de un hemoducto más saludable en menos tiempo, una mayor protección ante la infección y la isquemia del hueso y los órganos del mediastino, así como la conservación de la integridad de la vena mamaria interna.

Palabras clave: Revascularización miocárdica, Arteria mamaria interna, Flujo sanguíneo, Profilaxis antibiótica, Espasmo, Heparina

Proposal of a new method for the skeletonized internal mammary artery harvesting: Historical, anatomical and physiological fundaments

ABSTRACT

In the last 30 years the interest of the cardiovascular surgeons for the skeletonized dissection of the internal mammary artery has increased, mainly stimulated by its bilateral use, to achieve the total arterial revascularization in the greater amount of patients; this, in theory, is accompanied by a higher incidence of deep infections of the sternal wound. Since 1992, the classical technique of the mammary skeletonized dissection has practically not changed. Perhaps, the only major changes have been the introduction of the harmonic cauterizer around the year 2000 and the tendency of a few groups to try to preserve intact the retrosternal venous plexus. After a thorough analysis of the historical, anatomical and physiological fundaments on which this procedure is based, and based on the practice in more than 100 patients over a period of two years, modifications are presented for the classical

[✉] Y López-De la Cruz
Ave. 26 de julio, e/ 11ª y 13ª. Edif.
306, apto 18, Rpto. Escambray Sur.
Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
Correo electrónico:
yoandylic@infomed.sld.cu

technique of the skeletonized dissection of the internal mammary artery that allow obtaining a healthier hemoduct in less time, greater protection against infection and ischemia of the bone and mediastinal organs, as well as the preservation of the integrity of the internal mammary vein.

Keywords: Myocardial revascularization, Internal mammary artery, Blood flow, Antibiotic prophylaxis, Spasm, Heparin

INTRODUCCIÓN

Desde 1987 se le ha acreditado a Samuel B. Keeley el mérito de haber sido el creador de la técnica de disección esqueletizada de la arteria mamaria interna (AMI) en la cirugía de revascularización miocárdica. Sin embargo, esta aseveración no parece ser históricamente cierta; el nacimiento de este procedimiento presuntamente ocurrió casi 40 años antes. Fue realmente el canadiense Arthur Martín Vineberg quien, el 28 de abril de 1950, protagonizó un hito en la historia de la medicina moderna, al implantar por primera vez una AMI esqueletizada en el miocardio del ventrículo izquierdo de un ser humano¹, como una forma, extremadamente revolucionaria para la época, de crear una fuente sanguínea extracoronaria para ese músculo.

Es cierto que desde entonces la esqueletización mamaria ha dejado de ser una primigenia técnica anatómica para convertirse en un procedimiento totalmente fundamentado en principios fisiológicos, sobre los que se basan muchos de los magníficos resultados que se obtienen hoy en la cirugía coronaria, pero hace 70 años todo parecía ser más sencillo. Si se asume como el concepto más primitivo de esqueletización de la mamaria, la obtención y manipulación solamente de un segmento arterial, debe tenerse en cuenta que era solo eso lo que necesitaba Vineberg. Lamentablemente en ninguno de sus artículos el canadiense explica la técnica empleada para la preparación del injerto, pero 15 años después de sus primeras cirugías, un equipo de la Clínica Cleveland de Ohio, liderados por William H. Sewel, da a conocer el proyecto que los llevó a desarrollar su «operación del pedículo» para la implantación de la AMI en el corazón, y señalan como diferencias con la técnica predecesora la presencia de capilares del tejido blando (¿grasa perivascular y fascia endotorácica?) y de una vena en el pedículo injertado². Esta evidencia parece suficiente para comprender que hasta ese momento la arteria que se implantaba se preparaba de forma esqueletizada.

En 1992 Cunningham y colaboradores³ publican sus consideraciones en relación con la técnica de

esqueletización en la disección de la arteria torácica interna. En tan solo 4 páginas, y basados en su experiencia en más de mil pacientes, delinearon las particularidades y ventajas más importantes que se le atribuían a la técnica en su momento. Con el paso del tiempo quizás se hayan descrito nuevos beneficios de este procedimiento, pero difícilmente, más de un cuarto de siglo después, se hayan expuesto de forma más certera los detalles quirúrgicos de la preparación esqueletizada de la AMI durante la cirugía de revascularización coronaria.

Lo que a continuación se presenta es un nuevo método para la realización de este procedimiento. Sobre bases históricas, anatómicas y fisiológicas, así como la experiencia practicada en un grupo de pacientes, durante aproximadamente dos años. Se propone entonces modificar algunos aspectos básicos de la técnica descrita por Cunningham, considerada la clásica para la disección esqueletizada de la AMI.

PRIMERA MODIFICACIÓN

Oclusión distal de la arteria mamaria al inicio de la disección

Todas las revisiones que se hagan de cualquiera de las técnicas empleadas para la disección de la AMI mostrarán siempre algunos elementos comunes: previa administración sistémica de heparina, una vez cortada la arteria al final de su disección, es ocluida su luz en su segmento distal (mediante una pinza [*clamp*] o la colocación de un clip metálico [grapa]) y permanecerá así, y envuelta en un paño embebido en una sustancia vasodilatadora, hasta el momento de comenzar la construcción del injerto. Durante este período de tiempo, de mayor o menor duración en dependencia de las habilidades de los cirujanos y de la modalidad quirúrgica que se decida emplear (con o sin circulación extracorpórea), la arteria latirá contra el obstáculo mecánico creado, lo que aumentará la presión hidrostática en su interior y forzará la dilatación circunferencial del hemoducto⁴, favorecida además por la producción endotelial

de óxido nítrico⁵, mediada por un flujo hacia delante y hacia atrás, dentro del vaso distalmente ocluido.

Curiosamente, en la técnica propuesta por Keeley en 1987, la arteria es primero diseccionada en forma de un «generoso pedículo» que contiene vena, grasa, fascia y linfáticos; dividida distalmente y posteriormente esquelizada con un electrocauterizador bipolar, mientras su extremo permanece ocluido con un *clamp* vascular⁶. En los meses que le siguieron a la publicación de esta experiencia, la técnica de esquelización mamaria cambió radicalmente. El 1 de noviembre de 1988 comenzó la serie que Cunningham publicaba en el '92³. La arteria empezará a esquelizarse totalmente en su lecho, será pinzada y distalmente cortada después de ser completamente diseccionada. Al parecer, en los siguientes 25 años los cirujanos olvidaron por completo que la mamaria puede permanecer ocluida durante un tiempo considerable mientras es cuidadosamente preparada como hemoducto.

Por tanto, la primera modificación que se propone a la técnica clásica de esquelización mamaria es la oclusión distal de la arteria con un *clamp* al

inicio de su disección (**Figura 1**). Por razones que se explicarán más adelante, esta oclusión debe realizarse lo más proximal posible a la bifurcación de la mamaria en sus dos ramas terminales, pero sin comprometer la integridad de la comunicación entre las arterias musculofrénica y epigástrica superior⁷. Así, una vez visualizada la AMI y abierta la fascia endotorácica en toda la extensión o en la mayor parte posible del recorrido longitudinal del vaso, se procederá a identificarse su ramificación terminal.

En ocasiones se encuentran dificultades para precisar esta estructura. Una de las causas fundamentales de consumo innecesario de tiempo durante la preparación mamaria es la disección de la arteria más allá de su bifurcación. Algunos autores^{8,9}, han expresado la necesidad de utilizar su segmento más distal, en cualquiera de las dos arterias, para poder alcanzar con seguridad el sitio ideal en la coronaria a anastomosar. Sin embargo, en el caso de la estrategia clásica de revascularización de la arteria descendente anterior con la AMI izquierda, y en muchas variantes en que se utiliza la AMI derecha^{10,11}, pocas veces se requiere emplear el hemo-



Figura 1. Oclusión distal de la arteria mamaria interna con *clamp* antes de comenzar su disección esquelizada. La fascia endotorácica que cubre al hemoducto ha sido abierta hasta el nivel del tercer espacio intercostal.

ducto más allá de su ramificación final (de hecho algunos estudios sugieren precaución en relación con el uso de ese segmento^{5,12}); así, lo que se emplee en su preparación será, la mayor parte de las ocasiones, tiempo perdido.

Elementos anatómicos importantes para identificar adecuadamente la ramificación distal de la mamaria son la presencia de dos o tres ramas de mayor calibre^{13,14} en el segmento de la arteria que coincide con la unión del cuerpo del esternón con su proceso xifoideo. Debe recordarse que, en la mayoría de la población, la mamaria termina a nivel del 6º espacio intercostal (EIC) –aunque pocos autores sitúan la bifurcación entre el 5º y el 7º EIC^{14,15}–, punto que coincide con la mencionada articulación. La disección que se realice alrededor del xifoideo, generalmente involucrará a las arterias musculofrénica o epigástrica superior; que son vasos con características histológicas diferentes a la AMI, con una reactividad aumentada a estímulos vasoconstrictores, mayor contenido muscular y tendencia a la aterosclerosis¹² y al espasmo⁵, lo que puede comprometer la salud de un injerto, si son empleados como tal.

Una vez identificada la bifurcación se coloca el *clamp* proximal a esta y se inicia la disección y control mediante *clips* del resto de las ramas. Algunas ventajas de la oclusión distal de la mamaria al inicio de su disección se muestran en el **Anexo**^{16,32}.

Después de la realización de una extensa revisión de la literatura, no hemos encontrado ningún otro grupo quirúrgico en el mundo que aplique esta modificación en cualquier variante de técnicas de disección mamaria.

SEGUNDA MODIFICACIÓN

Control y división selectiva en dos tiempos de las ramas laterales de la arteria mamaria

Cuando se analizan las experiencias de diferentes grupos en la disección esqueletizada de la AMI, existen variaciones en relación con la dirección escogida para realizar el control de sus ramas laterales. La arteria puede prepararse en sentido cefálico (desde su bifurcación hacia el origen del vaso), caudal (desde la subclavia o primera costilla hacia el final de la arteria), o puede identificarse donde se visualice mejor (generalmente en su segmento medio) y realizarse una disección bidireccional. Generalmente, sea una u otra la opción escogida, se van ligando cada una de las ramas de la mamaria, independientemente de la dirección en la cual se originen.

La relación espacial que se establece entre el campo visual del cirujano y el recorrido de la AMI permite un fácil control de las ramas que se originan de su cara posterior (ramas pericárdicas), anterior (perforantes y esternales) y medial (tímicas, mediastinales)¹⁴. Casi siempre estas ramas son fácilmente identificadas por el cirujano y al hacer su recorrido generalmente alejadas de otros vasos pueden pinzarse y cortarse sin mucho riesgo de lesión y sangrado accidental. En cambio, las ramas que se originan en la cara lateral de la mamaria, se dirigen hacia el espacio intercostal, en forma de arterias intercostales anteriores, para conectarse con sus homónimas posteriores que provienen de la aorta torácica³³. Son estas las ramas más difíciles de controlar, ya que, no solo «se alejan» del plano visual del cirujano, sino que para poder precisar su sitio de emergencia tendría que manipularse excesivamente la AMI. Además, estos vasos se acercan mucho al recorrido lateral de la vena mamaria y sus afluentes, lo cual constituye motivo frecuente de lesión accidental de estas estructuras, cuando el cirujano coloca el *clip* distal o corta una rama arterial sin tener un adecuado control visual de lo que subyace más allá de las partes visibles de la grapadora o la tijera. El control del sangrado venoso o de las ramas laterales de la mamaria (son las de mayor flujo al recibir irrigación de dos fuentes), es en ocasiones difícil, prolonga siempre el tiempo de disección y aumenta el riesgo de lesión de nervios y vasos sanguíneos y linfáticos, sobre todo si el cirujano decide hacerlo con el electrocauterizador¹⁵.

Nuestro grupo ha diseñado una metodología diferente para el control de las ramas de la mamaria, consistente en su división selectiva en dos tiempos, lo que ha permitido disminuir la duración de la disección y la incidencia de lesiones a estructuras periarteriales. Una vez que se ha colocado distalmente el *clamp*, se comienza, en dirección cefálica, la división de las ramas que emergen de las caras posterior y ántero-medial de la AMI hasta que se considere controlada la más proximal, justo antes de la salida de la arteria de la cavidad torácica. Como señaló Cunningham³ en su artículo, durante la disección esqueletizada: “un hallazgo relativamente constante es un gradual incremento en el diámetro de la AMI en la medida que son divididas las ramas proximales”. Esta dilatación es potenciada, en nuestro caso, por los efectos físicos ya mencionados del *clamp* y por el rociamiento intermitente de la arteria, desprovista ya de la envoltura que le ofrece la fascia endotorácica, con una solución vasodilatadora.

Es importante durante esta primera fase de la disección, no perder tiempo en el control de ramas cortas que ofrezcan poco espacio para la colocación de los *clips*, en especial en mamas con un trayecto muy adosado a las costillas, por la ausencia de tejido graso interpuesto. En este momento en que la dilatación de la mama aún es incipiente, el abordaje intempestivo de esas ramas que no han tenido tiempo de alongarse, puede provocar su desgarramiento, así como lesiones de la pared de la arteria. Es aconsejable, por tanto, realizar una disección cuidadosa en esta etapa, pero dividir totalmente solo aquellas ramas aisladas y con suficiente longitud para un control rápido y sin peligro de accidente. Puede ser conveniente, en ramas cortas, la colocación del *clip* proximal solamente, y terminar su control distal y división en la segunda fase (cefálico-caudal) de la extracción; es cierto que esta estrategia impedirá momentáneamente la total movilización de ese segmento, pero –según los mencionados preceptos de Cunningham– contribuirá a la dilatación arterial, lo que facilitará etapas posteriores de disección.

Generalmente, las ramas de mayor calibre de la AMI se encuentran diseminadas entre su origen y el 2º EIC. Es también ahí donde su disección se ve entorpecida por la interposición de su vena y por la insuflación de los segmentos superomediales del pulmón que afectan de manera importante la visión del cirujano³. Aquí, además, las ramas arteriales asumen una disposición anatómica diferente a las colaterales de otros espacios, a tono con una mama que ahora tiende a separarse de su lecho en la pared torácica, y alejarse oblicuamente de la zona operatoria de confort del cirujano. Alrededor del 2º EIC en ocasiones el recorrido de la arteria puede verse oscurecido (y hasta confundido) por una disposición cercana y medial de su vena o por la interposición de tejido graso, que cubre casi todo su segmento más proximal. En esta circunstancia se aconseja abandonar el sentido de la disección que se ha estado siguiendo, e intentar descubrir la arteria en una zona más proximal dentro del mencionado fascículo graso que la rodea, cuando nuevamente su curso se ha separado ligeramente de la vena. Se encontrarán en este segmento, habitualmente, ramas gruesas y largas, dispuestas en varias direcciones (hacia diversos puntos de la pared torácica, hacia los restos tímicos, pericardio, entre otros), de fácil control generalmente, y se concluirá de esta forma el primer tiempo de disección de las ramas (**Figura 2A**).

Una vez que el cirujano considera que ha dividido

todas o la mayor cantidad de las ramas que nacen de las caras posterior, medial y anterior de la mama, en especial las dispuestas en los primeros dos espacios intercostales, se inicia la disección y división en sentido céfalo-caudal del resto de las ramas que permanecen conectadas a la arteria. En este momento, una AMI que ha sido desprovista de la mayor parte de su desagüe (en especial, las ramas más proximales que son las de mayor flujo) y que ha permanecido generalmente más de 15 minutos pinzada, y rociada intermitentemente por una solución vasodilatadora, ha aumentado su diámetro, su volumen de sangre, y por tanto, su masa. Esta nueva situación provocará que la arteria lentamente se separe («caiga») por su propio peso de la pared torácica, a la cual solamente ha quedado anclada por las ramas –ahora también más dilatadas– que antes se originaban de su cara lateral, pero ahora, por la rotación que ha sufrido el vaso, parece que emergen de su cara anterior (**Figura 2B**).

Esta nueva disposición anatómica que han adquirido las ramas laterales de la AMI, unido a la ptosis del vaso, permite ahora su pinzado y división de forma más fácil, sin peligro de lesionar el sitio en que se unen con los vasos procedentes de la aorta, elemento fundamental que justifica la esquelización mamaria en aras de proteger la circulación colateral esternal³⁴. Igualmente más fácil resulta el control de las ramas, ahora dilatadas y un poco más largas, que debieron haber sido totalmente controladas en la primera fase de la disección, pero por ser inicialmente demasiado cortas, se decidió pasarlas por alto o solo colocarles el clip proximal. Por su parte, las colaterales venosas han quedado en su posición habitual, adheridas a la pared torácica, por lo que se disminuye considerablemente el peligro de lesionarlas durante el control de las ramas arteriales.

Otra ventaja importante del control en dos tiempos de las ramas de la mama es que, durante la segunda fase sobre todo, facilita considerablemente la adecuada discriminación de las estructuras que deben ser pinzadas (tubulares, de mayor calibre) de otras adherencias no vasculares (grasa, tejido conjuntivo) que se han alongado, debilitado y muchas veces terminan por desgarrarse tan solo por el peso de la arteria. Esto evitará la innecesaria colocación de *clips*, con las consabidas ventajas prácticas que esto produce a la hora de manipular el hemoducto.

La introducción de esta modificación a la técnica clásica de disección esquelizada de la AMI ha permitido acortar su duración y el sangrado durante

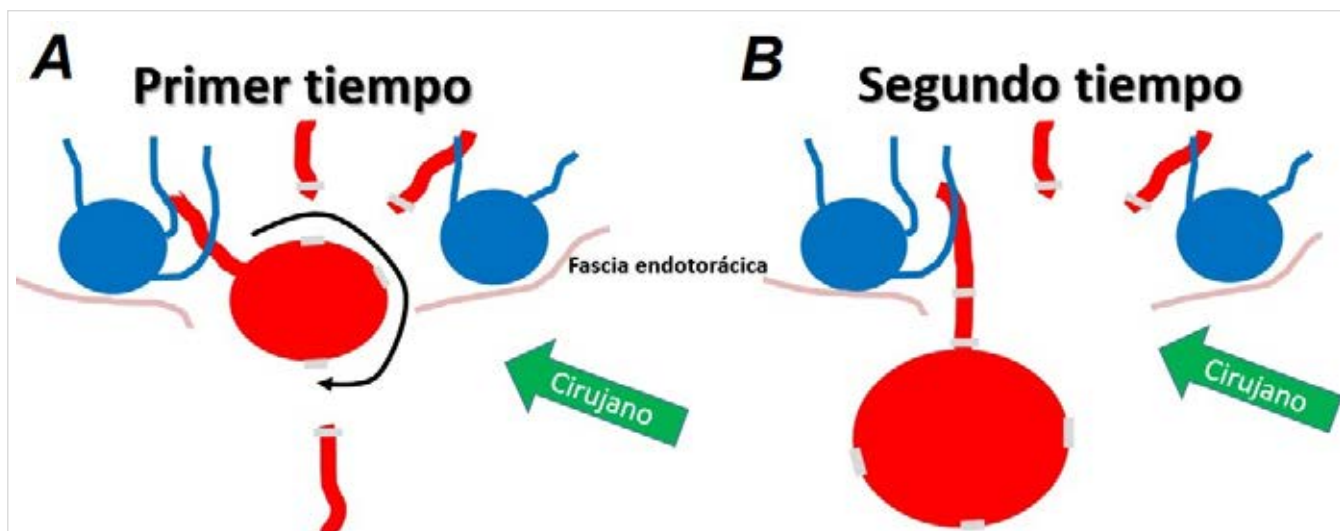


Figura 2. Esquema transversal de la anatomía del paquete arterio-venoso mamario. **A.** Al concluir el primer tiempo de disección mamaria, han sido controladas las ramas que emergen de sus caras anterior, medial y posterior. La flecha curva negra indica la rotación que realizará la arteria generalmente antes del inicio del segundo tiempo de disección. **B.** Durante el segundo tiempo, la arteria ha rotado y descendido. Las ramas que antes nacían de su cara lateral ahora se han alargado y emergen de su «nueva» cara anterior, lo que facilita su control. La flecha verde esquematiza el punto de vista del cirujano.

el procedimiento, al disminuir considerablemente la incidencia de lesiones de estructuras vasculares.

TERCERA MODIFICACIÓN

Administración más precoz de la heparina

La casi totalidad de las descripciones que se analizan en relación con la disección de la AMI, en cualquiera de sus variantes, señala la conducta casi obligatoria de administración sistémica del anticoagulante entre 3 y 5 minutos antes de cortar el hemoducto^{7,35}. Son pocos los que al realizar una rápida disección pediculada, solicitan la heparina al ejecutar aproximadamente la mitad del procedimiento³⁶. Este lapso, suficiente para que se obtenga la cifra deseada de tiempo de coagulación activada, permitirá cortar el hemoducto (lesión del endotelio) sin riesgo de trombosis.

Resulta obvio que no es una condición obligatoria acometer la disección mamaria con el estado normal de coagulación del paciente. Por diversos motivos, los cirujanos cardiovasculares modernos tratan cada día a un mayor número de enfermos que llegan a la cirugía antiagregados o anticoagulados, pero existe el consenso casi unánime de que, en la medida de lo posible, debe evitarse la preparación mamaria en ese estado, para prevenir sangrados de

gran cuantía, que entorpecerían el procedimiento, así como el elevado riesgo de lesión del hemoducto, lo que incluso puede provocarle su disección haciéndolo inútil para la revascularización.

Se propone adelantar el momento de la administración de heparina al concluir el primer tiempo de división y control de las ramas. Si hasta ese momento se han cumplido los principios que se han expuesto, la disección de las ramas restantes, en dirección céfalo-caudal, se realizará de forma expedita con un riesgo mínimo de lesión de colaterales y sangrado, lo que no justifica demorar más la administración del anticoagulante.

Es opinión de los autores, si se logra evitar la lesión de los hemoductos, que su disección con el paciente anticoagulado ofrece más beneficios que desventajas; sin embargo, el abordaje más profundo de estos aspectos está más allá de los objetivos de este trabajo.

CUARTA MODIFICACIÓN

Maniobra para contribuir a conservar la vena mamaria

Al elemento alrededor de la disección de la AMI que quizás se le ha prestado menos atención, es al destino de su vena. Cuando Vineberg¹ comenzó a im-

plantar la arteria, solo necesitaba una fuente de sangre oxigenada; desafortunadamente en sus artículos disponibles no se hace mención a la vena mamaria. Por su parte Sewel² la consideró un elemento importante en su técnica del pedículo, para actuar como retorno venoso y evitar hematomas en el miocardio, una teoría sin mucho sentido incluso en esa época, pues el canadiense no había encontrado esta complicación en ninguno de sus casos³⁷. Tres décadas después Cunningham³ señalaba que: “puede ser necesario dividir la vena torácica interna para obtener exposición satisfactoria de las ramas proximales”.

La extensa revisión de la literatura que se ha realizado para acometer esta investigación, permite asegurar que la mayoría de los grupos quirúrgicos que diseccionan la AMI de forma esquelizada, no escatiman en dividir su vena, si se presenta la circunstancia comentada por Cunningham. Solo escasos artículos valoran la importancia de conservar, en la medida de lo posible, la integridad del retorno venoso retroesternal, al considerar su ruptura un posible factor de riesgo para el desarrollo de complicaciones en el sitio quirúrgico³⁸.

Efectivamente, es durante el abordaje a los segmentos más proximales de la arteria que existe un mayor riesgo para la lesión de su vena acompañante. Según Schipper *et al*³⁹, entre el 2º y 3º EIC, en dos de las cuatro variantes descritas por Schwabegger, esta asume un trayecto medial, por lo que se interpone entre la arteria y el cirujano; circunstancia que, sumada a otras particularidades anatómicas de esa zona, vuelve –en ocasiones– muy compleja la disección arterial sin necesidad de prescindir de su vena.

Se propone, cuando el recorrido de la vena se adosa demasiado al hemoducto de interés y entorpece su extracción, una sencilla maniobra consistente en colocar un lazo a su alrededor y separarla de la vecindad de la arteria, ya sea mediante un punto anclado al borde de la piel, o con ayuda del peso de una pinza hemostática (**Figura 3**). Este sencillo procedimiento permitirá generalmente sustraer la vena del estrecho campo visual del cirujano (el procedimiento se hace habitualmente con lupas), lo que facilitará la disección arterial sin peligro de lesionar uno u otro vaso. Toda vez que haya concluido la preparación mamaria, la vena puede volver a su

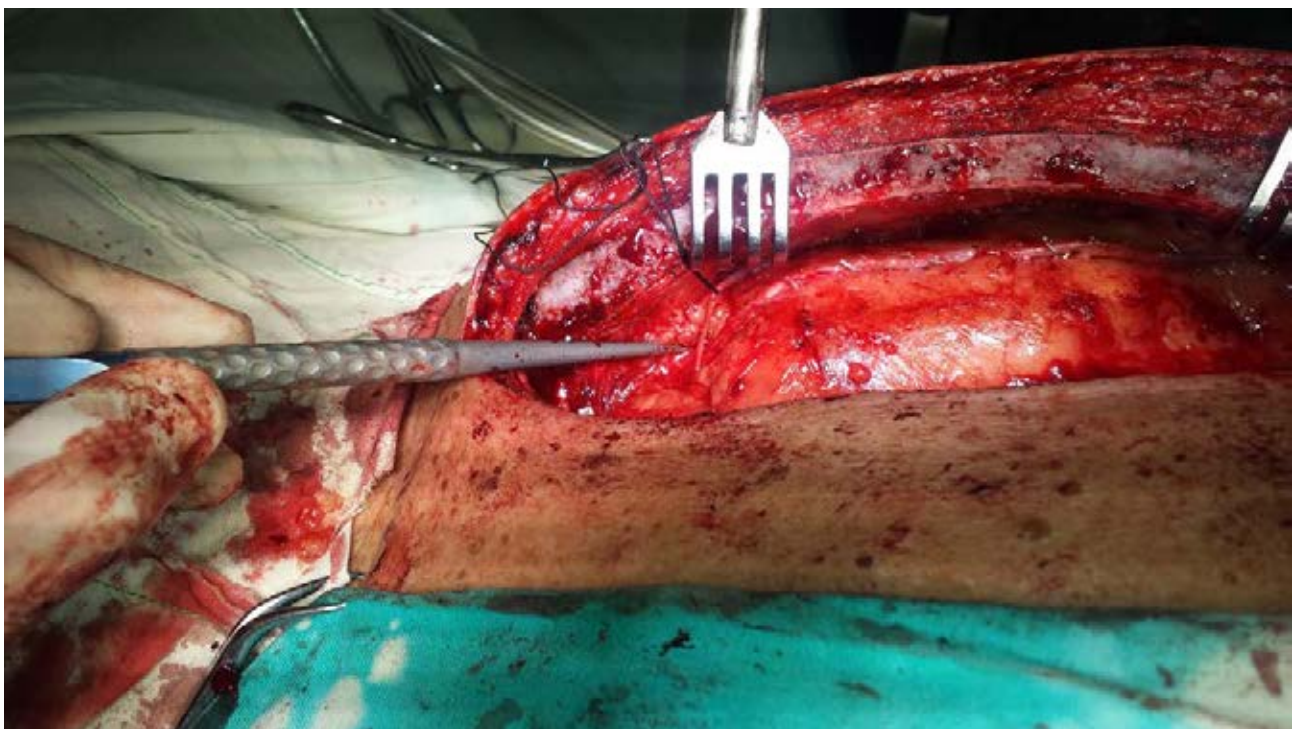


Figura 3. La vena mamaria, interpuesta sobre el recorrido proximal de la arteria homónima, ha sido desplazada (por tracción) mediante un anclaje para facilitar la disección del hemoducto sin necesidad de prescindir de ella.

posición original, sin haber sufrido lesión alguna. Según lo mejor de nuestro conocimiento, ninguno de los escasos grupos que en sus artículos señalan conservar la vena mamaria en la realización de esta técnica, ha publicado experiencias con maniobras semejantes a la propuesta por nuestro equipo.

QUINTA MODIFICACIÓN

División distal del hemoducto antes de concluir su disección

Todas las técnicas clásicas de disección mamaria estipulan que la arteria se mantenga conectada y permeable por ambos extremos durante todo el procedimiento. Obviamente una vez que se haya realizado su oclusión distal, no se le pueden adjudicar grandes ventajas a la estrategia de mantenerla anclada a la pared torácica. Quizás el único beneficio será la necesidad de una menor manipulación del vaso mientras se disecciona.

Solo se ha encontrado un autor que, durante el inicio de su técnica de disección pediculada, divide distalmente la mamaria para fijarla con un punto que

le permita su tracción hacia uno u otro lado durante la división de las ramas en dirección caudo-cefálica⁴⁰. Mencionamos esta experiencia aislada como fundamento fisiológico de la modificación que a continuación se propondrá, pero no se considera que la referida estrategia sea aconsejable en una arteria que carece de pedículo.

Sin embargo, según el juicio del cirujano, puede resultar conveniente la división distal del hemoducto antes de haber concluido su disección. Sobre todo, esta táctica puede ser un complemento de la cuarta modificación, ya comentada, con el objetivo de evitar lesionar el drenaje venoso. En ocasiones, a pesar de haberse separado la vena, es aún deficiente la movilidad de la arteria, y cortarla distalmente – previa administración de heparina– eleva las posibilidades de modificaciones posicionales del hemoducto que dispone el cirujano, lo que puede facilitar la división de ramas que aún puedan ser de difícil acceso. En otro escenario, la vena mamaria puede interponerse entre la arteria y la coronaria a revascularizar; el cirujano puede deslizar el hemoducto, después de cortado distalmente, «por detrás» de la vena, y tomar en este momento, de ser necesario,

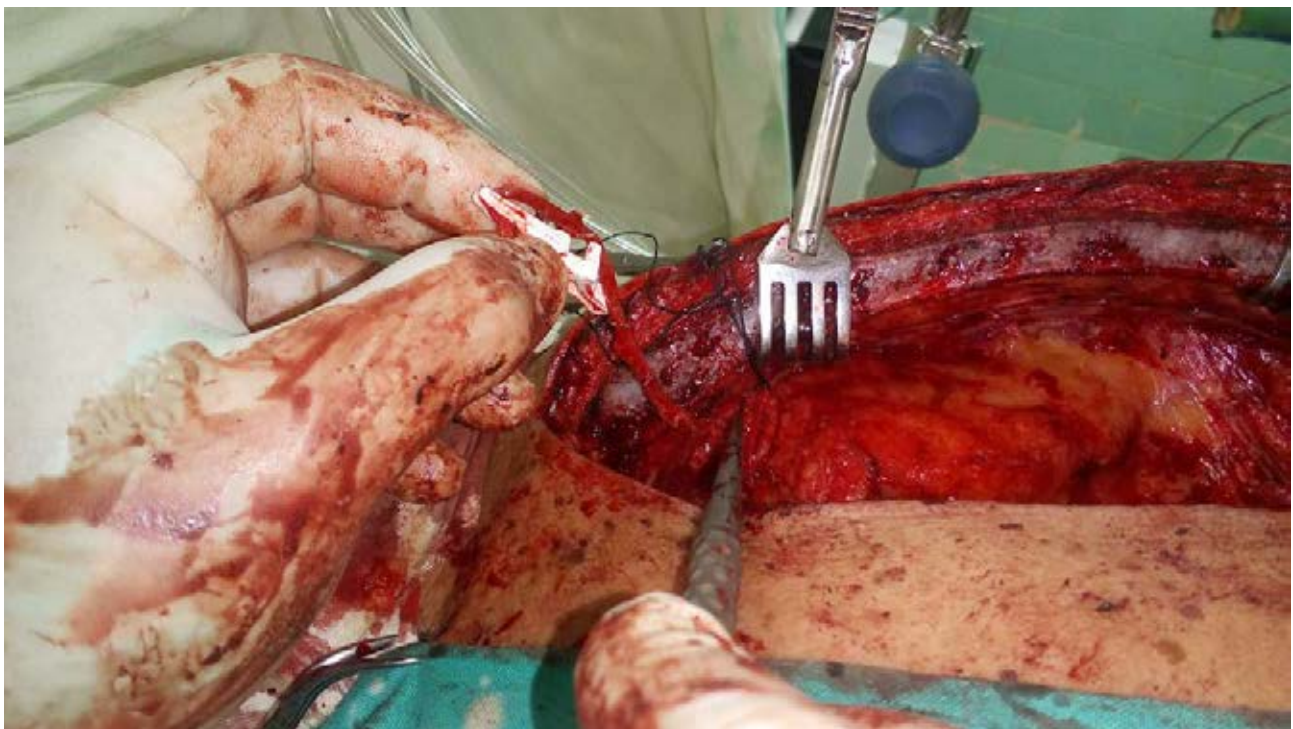


Figura 4. La arteria mamaria está siendo deslizada por detrás de la vena para facilitar la disección de su segmento más proximal y permitir además, un recorrido más directo hacia la coronaria diana.

medidas que permitan prolongar su longitud, o asumir un trayecto más recto hacia la coronaria diana (**Figura 4**).

Antes de concluir, es importante recalcar que las tres primeras modificaciones presentadas son practicadas habitualmente en todas las AMI diseccionadas por los autores de este trabajo. La implementación de las últimas dos es opcional y dependerá obviamente, de las características anatómicas, sobre todo, de la vena mamaria.

COMENTARIO FINAL

La efectividad y ventajas de las modificaciones que se han expuesto han sido demostradas durante un período de dos años, pero en un pequeño número de pacientes, si se compara con las grandes series publicadas por grupos de centros con mayores volúmenes operatorios. Los autores recomiendan tácitamente a otros equipos quirúrgicos la introducción de estas modificaciones en sus técnicas de disección esquelizada de la AMI, pero son conscientes de que se necesita experiencia en una mayor cantidad de pacientes para arribar a conclusiones más sólidas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Vineberg A, Miller G. Internal mammary coronary anastomosis in the surgical treatment of coronary artery insufficiency. *Can Med Assoc J.* 1951;64(3):204-10.
2. Sewell WH. Results of 122 mammary pedicle implantations for angina pectoris. *Ann Thorac Surg.* 1966;2(1):17-30.
3. Cunningham JM, Gharavi MA, Fardin R, Meek RA. Considerations in the skeletonization technique of internal thoracic artery dissection. *Ann Thorac Surg.* 1992;54(5):947-50.
4. Gurevitch J, Kramer A, Locker C, Shapira I, Paz Y, Matsa M, *et al.* Technical aspects of double-skeletonized internal mammary artery grafting. *Ann Thorac Surg.* 2000;69(3):841-6.
5. He GW, Taggart DP. Spasm in arterial grafts in coronary artery bypass grafting surgery. *Ann Thorac Surg.* 2016;101(3):1222-9.
6. Keeley SB. The skeletonized internal mammary artery. *Ann Thorac Surg.* 1987;44(3):324-5.
7. Satdhabudha O, Noppawinyoowong N. A randomized comparison of flow characteristics of semiskeletonized and pedicled internal thoracic artery preparations in coronary artery bypass. *J Cardiothorac Surg [Internet].* 2017 [citado 26 May 2018];12(1):28. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5434624/pdf/13019_2017_Article_589.pdf
8. Ji Q, Xia L, Shi Y, Ma R, Shen J, Lai H, *et al.* In Situ Skeletonized Right Internal Mammary Artery Bypass Grafting to Left Anterior Descending Artery: Feasibility, Mid-Term Efficacy, and Risk Factors for Graft Failure. *Int Heart J.* 2018;59(1):35-42.
9. Gatti G, Dell'Angela L, Maschietto L, Luzzati R, Sinagra G, Pappalardo A. The impact of diabetes on early outcomes after routine bilateral internal thoracic artery grafting. *Heart Lung Circ.* 2016;25(8):862-9.
10. Robinson BM, Paterson HS, Naidoo R, Dhurandhar V, Denniss AR. Bilateral internal thoracic artery composite Y grafts: Analysis of 464 angiograms in 296 patients. *Ann Thorac Surg.* 2016;101(3):974-80.
11. Luzurier Q, Le Guillou V, Lottin M, Vermeulin T, Marini H, Petel T, *et al.* Is the risk of wound infection related to bilateral internal thoracic artery graft potentiated by age? *Ann Thorac Surg.* 2016;102(4):1239-44.
12. Sahar G, Shavit R, Yosibash Z, Novack L, Matsa M, Medalion B, *et al.* The physiologic and histologic properties of the distal internal thoracic artery and its subdivisions. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2015;149(4):1042-50.
13. Harky A, Mohammad HA, Garner M, Ali M, Alani MS. Anomalous right internal thoracic artery terminating in the right superior pulmonary vein. *Ann Thorac Surg.* 2017;104(4):e323-4.
14. Sajja LR, Mannam G. Internal thoracic artery: Anatomical and biological characteristics revisited. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2015;23(1):88-99.
15. Onan B, Yeniterzi M, Onan IS, Ersoy B, Gonca S, Gelenli E, *et al.* Effect of electrocautery on endothelial integrity of the internal thoracic artery: ultrastructural analysis with transmission electron microscopy. *Tex Heart Inst J.* 2014;41(5):484-90.
16. Martínez Comendador JM, Castaño M, Álvarez JR. Biología y resultados de la arteria mamaria interna. *Cir Cardiov.* 2011;18(4):269-75.
17. Honda K, Okamura Y, Nishimura Y, Uchita S, Yuzaki M, Kaneko M, *et al.* Graft flow assessment using a transit time flow meter in fractional flow reserve-guided coronary artery bypass surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2015;149(6):1622-8.

18. Hwang HY, Koo BK, Yeom SY, Kim TK, Kim KB. Endothelial shear stress of the saphenous vein composite graft based on the internal thoracic artery. *Ann Thorac Surg*. 2018;105(2):564-71.
19. Saha KK. Graft spasm – The Achilles heel of arterial grafts. *Indian Heart J*. 2017;69(5):571-2.
20. Kociszewska K, Malinowski M, Czekaj P, Deja MA. What is the source of anticontractile factor released by the pedicle of human internal thoracic artery? *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2015; 21(3):301-7.
21. Manenti A, Roncati L. Nervous network of skeletonized internal thoracic artery. *Ann Thorac Surg*. 2013;95(4):1511-2.
22. Picichè M. Noncoronary collateral myocardial blood flow: The human heart's forgotten blood supply. *Open Cardiovasc Med J*. 2015;9:105-13.
23. Al-Atassi T, Toeg HD, Chan V, Ruel M. Coronary Artery Bypass Grafting In: Sellke FW, del Nido PJ, Swanson SJ, eds. *Sabiston & Spencer: Surgery of the chest*. 9^a ed. Philadelphia: Elsevier; 2016. p. 1551-88.
24. Ahmed S, Raman SP, Fishman EK. CT angiography and 3D imaging in aortoiliac occlusive disease: Collateral pathways in Leriche syndrome. *Abdom Radiol (NY)*. 2017;42(9):2346-57.
25. Hutchison SJ. Coarctation and Atresia of the Aorta. In: Hutchison SJ, Eagle KA, Diethrich EB, Peterson MD. *Aortic Diseases Clinical Diagnostic Imaging Atlas*. Philadelphia: Elsevier; 2009. p. 271-96.
26. Andreas M, Zeitlinger M, Hoferl M, Jaeger W, Zimpfer D, Hiesmayr JM, *et al*. Internal mammary artery harvesting influences antibiotic penetration into presternal tissue. *Ann Thorac Surg*. 2013; 95(4):1323-9.
27. Pasrija C, Ghoreishi M, Shah A, Rouse M, Gammie JS, Kon ZN, *et al*. Bilateral internal mammary artery use can be safely taught without increasing morbidity or mortality. *Ann Thorac Surg*. 2018; 105(1):76-82.
28. Nakahara Y, Yoshida S, Kanemura T, Yamagishi S, Tochigi S, Osaka S. Bilateral internal thoracic artery grafts in hemodialysis: A single-center propensity score analysis. *Ann Thorac Surg*. 2018; 105(1):153-9.
29. Hudson CL, Moritz AR, Wearn JT. The extracardiac anastomoses of the coronary arteries. *J Exp Med*. 1932;56(6):919-25.
30. Stoller M, Seiler C. Effect of permanent right internal mammary artery closure on coronary collateral function and myocardial ischemia. *Circ Cardiovasc Interv* [Internet]. 2017 [citado 20 Feb 2018];10(6):e004990. Disponible en: <https://www.ahajournals.org/doi/pdf/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.116.004990>
31. Sever AJ, Patel C, Albeer Y, Darian VB. The technique and benefits of angiographic embolization of inferior epigastric arteries prior to pedicled TRAM flap breast reconstruction: Results from a single center. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2017; 40(12):1845-50.
32. 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(6):790-3.
33. Schwabegger AH. Deformities of the anterior thoracic wall. In: *Congenital Thoracic Wall Deformities Diagnosis, Therapy and Current Developments*. New York: Springer-Verlag; 2011. p. 3-56.
34. 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(5):1942-53.
35. Ding WJ, Ji Q, Shi YQ, Ma RH, Wang CS. Incidence of deep sternal wound infection in diabetic patients undergoing off-pump skeletonized internal thoracic artery grafting. *Cardiology*. 2016; 133(2):111-8.
36. Papaspyros S, Zamvar V. Operative Techniques: Coronary Artery Bypass Graft Surgery. In: Lanzer P, ed. *PanVascular Medicine*. Berlin: Springer-Verlag; 2015. p. 2351-8.
37. Vineberg AM, Becerra A, Chari RS. The influence of the Vineberg sponge operation upon the hydrostatics of the myocardial circulation in health and disease: Evidence of luminal ventricular circulation in the beating heart. *Can Med Assoc J*. 1961;85(20):1075-90.
38. Parissis H, Chughtai Z, Soo A. Two questions on bilateral internal mammary artery usage. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2013;21(6):751-5.
39. Schipper RJ, Lobbes MB, Dikmans RE, Beets-Tan RG, Smidt ML, 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(2):177-84.
40. Punjabi PP, Chan KMJ. Coronary artery bypass grafting. In: Punjabi PP, ed. *Essentials of Operative Cardiac Surgery*. Switzerland: Springer International Publishing; 2015. p. 67-79.

ANEXO

Ventajas de la oclusión distal de la arteria mamaria interna

1. Inicio más precoz de las reconocidas ventajas de la oclusión distal de la mamaria: Estudios¹⁶ han demostrado que las mamas tienen un flujo inicial bajo, el cual se duplica tras 15-20 minutos de aumento de la presión hidrostática, favorecido por los latidos contra el obstáculo que constituye el *clamp*. Adelantar en el tiempo la oclusión nos ha permitido en muchas ocasiones obtener hemoductos con un flujo cercano o superior a 2 ml por latido inmediatamente después de cortar la arteria (120 ml en un minuto a una frecuencia cardíaca de 60 latidos/minuto). El logro en un menor período de tiempo de un hemoducto con estas características, permitirá la construcción de puentes más saludables con la consiguiente disminución de espasmos, competencia de flujos y desarrollo del síndrome de hipoperfusión mamaria. Debe recordarse que estudios imagenológicos por fluorescencia han demostrado que el realce del torrente sanguíneo, durante la competencia de flujo, se inicia en la coronaria nativa y se disemina en forma retrógrada al injerto de mamaria, a través del sitio anastomótico¹⁷. Si a esto se le suma el conocimiento de que el incremento en las fuerzas de cizallamiento dentro del vaso (fuerzas tangenciales derivadas de la fricción de la sangre fluyendo sobre la superficie endotelial) aumentan la expresión de la sintetasa endotelial de óxido nítrico¹⁸ y, por consiguiente, el diámetro del hemoducto, se comprenderá entonces los enormes beneficios de la obtención de una AMI con el mayor nivel de flujo posible.

Estas se suman a otras indudables ventajas de elevados diámetros y flujos en estos hemoductos, en cualquier estrategia quirúrgica que se implemente; profundizar más en ellas mismas está más allá de los objetivos de este artículo.

2. El aumento en el diámetro y flujo de la AMI se beneficia también por los posibles factores locales presentes en su lecho. Durante años, diferentes grupos han estudiado la posible presencia de factores nerviosos o humorales en el vaso, en la pared torácica o en el tejido adiposo periarterial mamario, que disminuirían la posibilidad de espasmo y facilitarían la dilatación de la arteria con un consiguiente mayor flujo¹⁹. El análisis pormenorizado de estos estudios, igualmente supera los objetivos de este trabajo, pero la teórica presencia de estos factores ha llevado a

algunos grupos, por ejemplo, a favorecer la disección pediculada de la AMI sobre la supuesta base de que su calibre será mayor si se beneficia de una sustancia anti-contráctil presente en la grasa periarterial. Existan o no estos factores^{20,21}, lo cierto es que la dilatación del hemoducto se verá favorecida una vez que haya sido totalmente esquelizada. En teoría, adelantar la colocación del *clamp* le permitirá a la mamaria, durante un mayor período de tiempo, sumar al aumento de la presión hidrostática los beneficios de los posibles factores vasorrelajantes presentes en su lecho; las técnicas actuales, al colocar el *clamp* una vez que la AMI ha sido separada de la pared, disminuyen la incidencia de los factores locales sobre el diámetro del vaso.

3. Favorece la visualización y control de ramas: En la medida que aumenta el diámetro y flujo de la AMI sucede lo mismo con los vasos que de ella nacen. Así, ramas con mayor flujo y calibre tienden también a elongarse lo que facilita su control, especialmente en la técnica «solo con *clips* y tijeras». Si el cirujano visualiza mejor las ramas le es más fácil su control, por lo que disminuye el tiempo de disección.

4. Aumento intencional de la irrigación a órganos en riesgo de isquemia o infección, mediante el redireccionamiento fisiológico del flujo sanguíneo de la AMI, durante su disección. Este quizás sea el más importante beneficio que se obtiene de la colocación distal del *clamp*. Durante muchos años se ha conocido el significativo potencial para la plasticidad que puede exhibir la AMI en presencia de una obstrucción al flujo anterógrado²². También es ampliamente reconocida la capacidad de las mamas de aumentar sus diámetros y flujos de forma importante, para servir como vía colateral de irrigación a órganos distantes, en enfermedades que se acompañan de estenosis significativas de la aorta, como el síndrome de Leriche^{23,24} o la coartación de la aorta²⁵. En este caso la oclusión del extremo distal de la arteria permitirá, durante el tiempo que dura su disección, una redistribución y aumento del flujo sanguíneo en otros órganos, de las siguientes formas:

- Al esternón y tejidos periesternales. Mientras existan ramas esternales o perforantes sin pinzar, el flujo de la AMI, al no contar –en esas circunstancias– con su desagüe distal, se redireccionará en ese sentido. Una ventaja adicional de este nuevo aumento de flujo sanguíneo es que va acompañado del antibiótico administrado como profi-

laxis. Quizás el mayor inconveniente, aparentemente nunca estudiado, de permitir la integridad del flujo mamario durante su disección, es que una importante cantidad de la antibioprofilaxis se aleja irremediabilmente del campo operatorio, lo cual es totalmente contraproducente pues la única función de esta dosis de antimicrobianos es precisamente evitar la infección del sitio quirúrgico. Un estudio²⁶, al menos, ha señalado que el menor de los picos de concentración de la antibioprofilaxis se alcanza en el hemiesternón que está siendo diseccionado una hora después de la administración de 4 gramos de cefazolina (una dosis mayor a la usada en nuestro medio); a partir de ese minuto comienza una constante disminución de esa concentración. La precoz oclusión distal de la mamaria forzaría al antibiótico que discorra por ella, a partir de ese momento, a impregnar al esternón y a otros tejidos mediastinales, que estarán luego sometidos a elevado riesgo de infección, en especial cuando se diseccionan ambas AMI^{27,28}.

- Al corazón: La oclusión de la mamaria antes de su bifurcación favorece un aumento del flujo sanguíneo colateral no coronario al corazón, por dos vías:

- Anterógrada: Mediante la rama pericardiofrénica. Desde la década de 1930 se conoce que esta arteria es la principal fuente de irrigación extracardiaca del corazón²⁹. Hasta 1959 varios cirujanos emplearon la ligadura distal de las arterias mamarias como una forma de aumentar la irrigación del corazón, sobre la base de que un estatus hipertensivo local produciría un incremento de la presión de perfusión dentro de canales, en especial la pericardiofrénica, que llegarían al miocardio²². Presumiblemente el desarrollo de la máquina de circulación extracorpórea y otras cuestiones éticas frenaron esta práctica, pero la teoría sobre la cual se sustenta sigue vigente, al punto de que recientemente ha vuelto a considerarse esta

opción en situaciones donde otras variantes terapéuticas no pueden ser aplicadas³⁰.

- Retrógrada: Mediante las conexiones de las arterias epigástrica inferior y superior, musculofrénica, frénica y pericardiofrénica al nivel del diafragma¹⁴. Es conocida la comunicación existente entre las arterias epigástrica superior e inferior³¹, que constituye la ya mencionada importante vía de colateralidad a los miembros inferiores. En sentido inverso, existe por tanto un flujo retrógrado proveniente de la arteria iliaca común, mediante ambas epigástricas hacia el sistema de la mamaria interna que puede aprovecharse en la realización de puentes a segmentos distales de la arteria descendente anterior³².

Al haberse colocado el *clamp* proximal a la bifurcación y conservarse, por tanto, íntegra la comunicación entre las ramas epigástrica superior y musculofrénica⁷, se garantiza –además de la acentuación del diámetro de ese extremo distal (al seguir los mismos principios del aumento de la presión hidrostática por vía retrógrada)–, un incremento de la irrigación del corazón mediante la ya mencionada anastomosis entre la arteria musculofrénica y pericardiofrénica a nivel del diafragma. En el lado derecho debe agregarse otra fuente de flujo sanguíneo retrógrado consistente en la anastomosis de ramas de la arteria hepática a través del ligamento falciforme con pequeñas ramas de la mamaria derecha¹⁴.

5. ¿Precondicionamiento isquémico del corazón? Esta posible ventaja necesita ser estudiada con más profundidad. Las extensas relaciones de colateralidad que se establecen alrededor de la AMI hacen poco probable el desarrollo de isquemia por la oclusión distal del vaso, pero si esta ocurriera a algún nivel, un mecanismo de precondicionamiento isquémico estaría favoreciendo al corazón de forma más temprana a como ocurre en el caso de la técnica clásica de esqueletización.

Proposal of a new method for the skeletonized internal mammary artery harvesting: Historical, anatomical and physiological fundamentals

Yoandy López-De la Cruz[✉], MD, MSc; and Yolepsis F. Quintero Fleites, MD, MSc

Department of Cardiovascular Surgery, Hospital Universitario Cardiocentro Ernesto Che Guevara. Santa Clara, Villa Clara, Cuba

Este artículo también está disponible en español

ARTICLE INFORMATION

Received: April 18, 2018

Accepted: May 24, 2018

Competing interests

The authors declare no competing interests

Acronyms

ICS: intercostal space

IMA: internal mammary artery

ABSTRACT

In the last 30 years the interest of the cardiovascular surgeons for the skeletonized dissection of the internal mammary artery has increased, mainly stimulated by its bilateral use, to achieve the total arterial revascularization in the greater amount of patients; this, in theory, is accompanied by a higher incidence of deep infections of the sternal wound. Since 1992, the classical technique of the mammary skeletonized dissection has practically not changed. Perhaps, the only major changes have been the introduction of the harmonic cauterizer around the year 2000 and the tendency of a few groups to try to preserve intact the retrosternal venous plexus. After a thorough analysis of the historical, anatomical and physiological fundamentals on which this procedure is based, and based on the practice in more than 100 patients over a period of two years, modifications are presented for the classical technique of the skeletonized dissection of the internal mammary artery that allow obtaining a healthier hemoduct in less time, greater protection against infection and ischemia of the bone and mediastinal organs, as well as the preservation of the integrity of the internal mammary vein.

Keywords: Myocardial revascularization, Internal mammary artery, Blood flow, Antibiotic prophylaxis, Spasm, Heparin

Propuesta de nuevo método para la disección esqueletizada de la arteria mamaria interna: Fundamentos históricos y anatómo-fisiológicos

RESUMEN

En los últimos 30 años se ha acrecentado el interés de los cirujanos cardiovasculares por la disección esqueletizada de la arteria mamaria interna, sobre todo estimulado por su empleo bilateral para lograr la revascularización arterial total en la mayor cantidad de pacientes; lo que, en teoría, se acompaña de una mayor incidencia de infecciones profundas de la herida esternal. Desde 1992, prácticamente no ha variado la técnica clásica de disección esqueletizada de la mamaria. Quizás los únicos cambios importantes han sido la introducción del cauterizador armónico alrededor del año 2000 y la tendencia de algunos escasos grupos de intentar conservar indemne el plexo venoso retroesternal. Después de un profundo análisis de los fundamentos históricos, anatómicos y fisiológicos sobre los que se sustenta este procedimiento, y basados en la práctica en más de 100 pacientes en un período de dos años, se presentan modificaciones a la técnica clásica de disección

[✉] Y López-De la Cruz
Ave. 26 de julio, e/ 11^a y 13^a. Edif.
306, apto 18, Rpto. Escambray Sur.
Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
E-mail address:
yoandylic@infomed.sld.cu

esqueletizada de la arteria mamaria interna que permiten la obtención de un hemoducto más saludable en menos tiempo, una mayor protección ante la infección y la isquemia del hueso y los órganos del mediastino, así como la conservación de la integridad de la vena mamaria interna.

Palabras clave: Revascularización miocárdica, Arteria mamaria interna, Flujo sanguíneo, Profilaxis antibiótica, Espasmo, Heparina

INTRODUCTION

Since 1987, Samuel B. Keeley has been credited with being the creator of the skeletonized dissection technique of the internal mammary artery (IMA) in the myocardial revascularization surgery. However, this assertion does not seem to be historically true; the birth of this procedure allegedly occurred almost 40 years earlier. The Canadian Arthur Vineberg Martin was actually who, on April 28, 1950, was responsible for a milestone in the history of modern medicine, when implementing, for the first time, a skeletonized IMA in the left ventricular's myocardium of a human being¹, as a form, extremely revolutionary for the time, to create an extracoronary blood source for that muscle.

It is true that, since then, the mammary artery skeletonization has ceased to be a primordial anatomical technique and became a procedure totally based on physiological principles, which are the base for wonderful results obtained today in coronary surgery, but 70 years ago all it seemed to be simpler. If it is assumed, as the most primitive concept of the mammary artery skeletonization, obtaining and handling only an arterial segment, it should be noted that it was just what Vineberg needed. Unfortunately, in none of his articles the Canadian explained the technique used for the preparation of the graft, but 15 years after his first surgeries, a team from the Cleveland Clinic in Ohio, led by William H. Sewel, announces the project that led them to develop their "pedicle surgery" for the implantation of the IMA in the heart, and points out, as differences with the predecessor technique, the presence of soft tissue's capillaries (perivascular fat and endothoracic fascia?) and a vein in the grafted pedicle². This evidence seems enough to understand that until that moment, the artery being implanted was prepared in a skeletonized way.

In 1992, Cunningham *et al*³ publish their considerations in relation to the technique of skeletonization in the dissection of the internal thoracic artery. In just four pages, and based on their experience in more than a thousand patients, they delineated the

most important features and advantages that were attributed to the technique at the time. Through the time, new benefits of this procedure may have been described, but hardly more than a quarter century later, the surgical preparation details of the skeletonized IMA during the coronary artery bypass grafting have been exposed in a more accurate way.

What follows is a new method for carrying out this procedure. On historical, anatomical and physiological bases, as well as the experience applied in a group of patients, for approximately two years. We propose then to modify some basic aspects of the technique described by Cunningham, considered the classic one for the skeletonized dissection of the IMA.

FIRST MODIFICATION

Distal occlusion of the mammary artery at the beginning of the dissection

All reviews made of any of the techniques used for the dissection of the IMA always show some common elements: prior systemic administration of heparin, once the artery is cut at the end of dissection, its light is occluded in its distal segment (by a clamp) or placing a metal clip and it will remain in that way, and wrapped in a cloth soaked up a vasodilating substance, until beginning the construction of the graft. During this period of time, of greater or lesser duration depending on the skills of the surgeons and the surgical modality that is decided to be used (with or without extracorporeal circulation), the artery will beat against the created mechanical obstacle, which will increase the hydrostatic pressure within it and will force the circumferential dilation of the hemoduct⁴, further favored by the endothelial nitric oxide production⁵, mediated by a forward and backward flow within the vessel distally occluded.

Interestingly, in the technique proposed by Keeley in 1987, the artery is first dissected in the form of a «generous pedicle» containing vein, fat, fascia and lymphatics; divided distally and later skeletonized with a bipolar electrocauterizer, while its end re-

mains occluded with a vascular clamp⁶. In the months after the publication of this experience, the mammary artery skeletonization technique radically changed. On November 1, 1988 began the series that Cunningham published in '92. The artery will be totally skeletonized in its original location, to be clamped and distantly cut off after being completely dissected³. Apparently, in the next 25 years, surgeons completely forgot that the mammary artery may remain occluded for a considerable time while being carefully prepared as hemoduct.

Therefore, the first modification proposed to the conventional technique of the mammary artery skeletonization is the distal occlusion of the artery with a clamp at the beginning of its dissection (**Figure 1**). For reasons that will be explained later, this occlusion should be done as close as possible to the bifurcation of the mammary artery in its two terminal branches, but without compromising the integrity of the communication between the superior musculophrenic and superior epigastric arteries⁷. Thus, once the IMA is displayed and open the endothoracic fascia in all the extension, or as much as possible

of the longitudinal route of the vessel, the next step is to identify its terminal branch.

Sometimes, to precise this structure is difficult. One of the fundamental causes of unnecessary time consumption during the mammary artery preparation is the dissection of the artery beyond its bifurcation. Some authors^{8,9} have expressed the need to use its distal segment, in either arteries, to safely reach the ideal place in the coronary to be anastomosed. However, in the case of the classic revascularization strategy of the anterior descending artery with left IMA, and in many variants in the right IMA^{10,11}, it is rarely required to use the hemoduct beyond its final branch (in fact, some studies suggest caution in relation to the use of this segment^{5,12}); hence, what is used in its preparation will be, almost always, lost time.

Core anatomical elements to properly identify the distal bifurcation of the mammary artery are the presence of two or three branches of more importance^{13,14} in the selected segment that coincides with the binding of the sternum body with its xiphoid process. It must be remembered that, in most of



Figure 1. Distal occlusion of the internal mammary artery with clamp before beginning its skeletonized dissection. The endothoracic fascia covering the hemoduct has been opened up to the level of the third intercostal space.

the population, the mammary artery ends at the level of the 6th intercostal space (ICS), although few authors place the bifurcation between the 5th and 7th ICS^{14,15}, a point that coincides with the aforementioned articulation. The dissection performed around the xiphoid, generally involves the musculophrenic or superior epigastric arteries; which are arteries with histological features different to the IMA, with a greater reactivity to vasoconstrictor stimuli, greater muscle content and tendency to atherosclerosis¹² and spasm⁵, what can jeopardize the state of a graft, if they are used as such.

Once identified this bifurcation, the proximal clamp is placed on it and the dissection and control are started by clips on other branches. Some advantages of the mammary artery distal occlusion at the beginning of its dissection are shown in **Appendix**¹⁶⁻³².

After an extensive review of the bibliography, no other surgical group in the world applies this modification in any variant of the mammary artery dissection techniques.

SECOND MODIFICATION

Control and selective division in two times of the mammary artery's lateral branches

When the experiences of different groups in the skeletonized dissection of the IMA are analyzed, there are variations in relation to the direction chosen to perform the control of its lateral branches. The artery may be prepared cephalically, (from its bifurcation into the source of the vessel), caudally (from the subclavian or first rib to the end of the artery), or it can be identified where it is best visualized (usually in its middle segment) and a bidirectional dissection is performed. Generally, whether one or the other option is chosen, each branch of the mammary artery is linked, regardless of the direction in which they are originated.

The spatial relationship established between the visual field of the surgeon and the path of the IMA allows easy control of the branches originating from its posterior wall (pericardial branches), anterior (perforating and sternal) and medial (thymic, mediastinal)¹⁴. Almost always, these branches are easily identified by the surgeon and because they travel generally far away from other vessels, they can be clamped and cut off without much risk of injury and accidental bleeding. On the other hand, the branches that originate in the lateral wall of the mammary

artery go to the ICS, in the form of anterior intercostal arteries, in order to connect with their posterior homonyms that come from the thoracic aorta³³. These are the most difficult branches to control, since they not only "move away" from the visual plane of the surgeon, but to be able to specify their emergency site, the IMA would have to be manipulated excessively. Furthermore, these vessels are very close to the lateral travel of the mammary vein and its tributaries, which is a frequent cause of accidental injury to these structures, when the surgeon places the distal clip or cuts an arterial branch without adequate visual control of what underlies beyond the visible parts of the stapler or scissors. The control of venous bleeding or of the lateral branches of the mammary (they are those of greater flow when receiving irrigation of two sources) is sometimes difficult, always prolongs the time of dissection and increases the risk of injury of nerves and blood and lymphatic vessels, especially if the surgeon decides to do it with the electrocauterizer¹⁵.

Our group has designed a different method for controlling the mammary artery's branches, consisting in its selective division into two times, which has reduced the duration of dissection and the incidence of injuries to periarterial structures. Once the clamp has been positioned distally, there is started, in a cephalic direction, the division of the branches emerging from the posterior and anteromedial walls of the IMA until the most proximal, just before the exit of the thoracic cavity's artery. As Cunningham³ pointed out in his article, during the skeletonized dissection: "a relatively constant finding is a gradual increase in the diameter of the IMA as the proximal branches are divided". This dilatation is enhanced, in our case, by the aforementioned physical effects of the clamp and the intermittent spraying of the artery, already devoid of the wrapping that offers the endothoracic fascia, with a vasodilator solution.

It is important during this first phase of the dissection, not to waste time in the control of short branches that offer little space for the placement of the clips, especially in mammary arteries with a path very close to the ribs, due to the absence of interposed fat tissue. At this time, when the dilatation of the mammary artery is still incipient, the untimely approach of those branches that have not had time to stretch can cause tearing, as well as injuries to the wall of the artery. It is advisable, therefore, to carry out a careful dissection at this stage, but to completely divide only those isolated branches with sufficient length for a quick control and without the risk of an

accident. It can be convenient, in short branches, only the placement of the proximal clip, and finish its distal control and division in the second phase (cephalocaudal) of the extraction; it is true that this strategy will momentarily obstruct the total mobilization of this segment, but –according to the aforementioned Cunningham precepts– it will contribute to arterial dilation, which will facilitate later stages of dissection.

Generally, the larger branches of the IMA are scattered between their origin and the 2nd ICS. It is also there where its dissection is hindered by the interposition of its vein and by the insufflation of the superomedial segments of the lung that significantly affect the surgeon's vision³. Here, in addition, the arterial branches assume a different anatomical arrangement to the collaterals of other spaces, in line with a mammary artery that now tends to separate from its layer in the thoracic wall, and move away obliquely from the operative comfort zone of the surgeon. Around the 2nd ICS, sometimes the path of the artery may be obscured (and even confused) by a close and medial layout of its vein or by the interposition of fat tissue, which covers almost all of its most proximal segment. In this circumstance, it is advisable to abandon the sense of dissection that has been followed, and try to discover the artery in a more proximal area within the aforementioned fat fascicle that surrounds it, when again its course has separated slightly from the vein. Usually, thick and long branches will be found in this segment, arranged in several directions (to various points of the thoracic wall, to thymic remains, pericardium, etc.), generally easy to control, and completing in this way, the first time of dissection of the branches (**Figure 2A**).

Once the surgeon feels that has divided all or many branches that arise from the posterior, medial and anterior walls of the mammary artery, especially those provided in the first two intercostal spaces, the dissection and division can begin in the cephalocaudal sense of the rest of the branches that remain connected to the artery. At this time, an IMA that has been devoid of most of its drain (especially the more proximal branches which are the ones with larger flow) and has remained clamped generally more than 15 minutes, and sprinkled intermittently with a vasodilator solution, its diameter, its volume of blood, and therefore, its mass has increased. This new situation will cause the artery to slowly separate (“fall”), by its own weight, of the thoracic wall, which has only been anchored by the branch-

es –now also more dilated– that originated before from its side wall, but now, for the rotation undergone by the vessel, they seem to emerge from its front wall (**Figure 2B**).

This new anatomical arrangement that the lateral branches of the IMA have acquired, together with the ptosis of the vessel, now allows its clamping and division more easily, without jeopardizing or damaging the site where they join with vessels from the aorta, a fundamental element that justifies the mammary artery skeletonization in order to protect sternal collateral circulation³⁴. Equally easier is the control of the branches, now dilated and a little longer, which should have been fully controlled in the first phase of the dissection, but because they were initially too short, it was decided to ignore them or just place the proximal clip. On the other hand, the venous collaterals have remained in their usual position, adhered to the thoracic wall, i.e. that the risk of injuring them is considerably reduced during the control of the arterial branches.

Another important advantage of the control in two times of the mammary artery's branches is that, during the second phase mainly, it considerably facilitates an adequate discrimination of the structures to be clamped (tubular, larger caliber) of other non-vascular adhesions (fat, connective tissue) that have been stretched, weakened and often end up tearing apart just by the weight of the artery. This will avoid the unnecessary placement of clips, with the usual practical advantages that this produces when handling the hemoduct.

The introduction of this modification to the classic skeletonized dissection technique of the IMA has allowed to shorten its duration and bleeding during the procedure, by considerably reducing the incidence of injuries to vascular structures.

THIRD MODIFICATION

Earlier administration of heparin

Almost all descriptions discussed in connection with dissecting the IMA, in any of its variants, indicate the almost obligatory conduct of systemic administration of anticoagulant between 3 to 5 minutes before cutting the hemoduct^{7,35}. Few are those that, when accomplishing a quick pedicle dissection, request heparin when they are approximately in the middle of the procedure³⁶. This lapse, sufficient for obtaining the desired number of activated clotting time, allows cutting the hemoduct (endothelial injury)

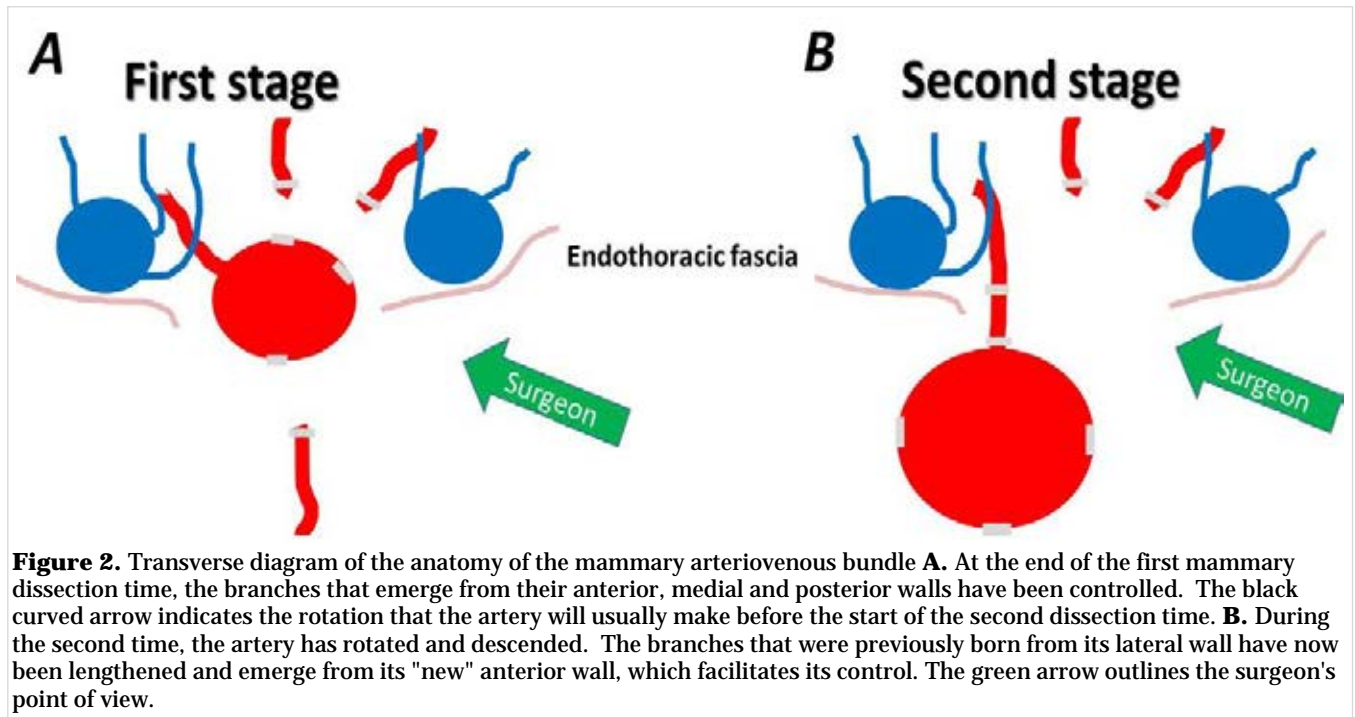


Figure 2. Transverse diagram of the anatomy of the mammary arteriovenous bundle **A.** At the end of the first mammary dissection time, the branches that emerge from their anterior, medial and posterior walls have been controlled. The black curved arrow indicates the rotation that the artery will usually make before the start of the second dissection time. **B.** During the second time, the artery has rotated and descended. The branches that were previously born from its lateral wall have now been lengthened and emerge from its "new" anterior wall, which facilitates its control. The green arrow outlines the surgeon's point of view.

without risk of thrombosis.

Obviously, it is not a mandatory condition to undertake the mammary artery dissection with the patient's normal state of coagulation. For several reasons, modern cardiovascular surgeons treat a greater number of sick people each day, who come to the surgery antiaggregated and anticoagulated, but there is almost unanimous consensus that, as far as possible, one must avoid mammary artery preparation in that state, to foresee large bleedings that would hinder the procedure and the high risk of injuring the hemoduct, which may even cause its dryness, making it useless for revascularization.

It is proposed to advance the time of administration of heparin at the end of the first time of division and control of the branches. If so far there have been met the principles that have been exposed, the dissection of the remaining branches in the cephalocaudal direction will be performed expeditiously with a minimum risk of collateral injury and bleeding, what does not justify delaying the administration of the anticoagulant.

It is the opinion of the authors, if the injury of the hemoducts is avoided, that their dissection with the anticoagulated patient offers more benefits than disadvantages; however, a deeper approach to these aspects is beyond the objectives of this work.

FOURTH MODIFICATION

Maneuver to help preserving the mammary vein

The element around the dissection of the IMA that perhaps has received less attention is the fate of its vein. When Vineberg¹ began to implant the artery, he only needed a source of oxygenated blood; unfortunately, in his available articles, no mention is made to the mammary vein. On the side, Sewel² considered it an important element in his pedicle technique, to act as a venous return and avoid bruising in the myocardium, a theory without much sense even at that time, because the Canadian had not found this complication in any of his cases³⁷. Three decades later Cunningham³ noted that: "it may be necessary to divide the internal thoracic vein to obtain satisfactory exposure of the proximal branches".

The extensive bibliography review made to tackle this research has ensured that most surgical groups that dissect the IMA in a skeletonized way do not spare to divide its vein, if the circumstance discussed by Cunningham takes place. Only a few articles assess the importance of conserving, insofar as possible, the integrity of the retrosternal venous return, considering its rupture as a possible risk factor for the development of complications at the surgical site³⁸.

Indeed, it is during the approach to the most proximal segments of the artery that there is a greater risk for the injury of its accompanying vein. According to Schipper *et al*²⁹, between the 2nd and 3rd ICS, in two of the four variants described by Schwabegger, this assumes a medial path, therefore it is interposed between the artery and the surgeon. Circumstance, together with other anatomical features of the area, that returns sometimes very complex arterial dissection without the need to dispense its vein.

There is proposed, when the route of the vein is too close to the hemoduct of interest and hinders its extraction, a simple maneuver consisting of placing a loop around it and separating it from the vicinity of the artery, either through a point anchored at the edge of the skin, or by using the weight of a hemostatic clip (**Figure 3**). This simple procedure will generally allow the vein to be removed from the narrow visual field of the surgeon (the procedure is usually done with magnifying glasses), which will facilitate arterial dissection without danger of injuring one or the other vessel. Once the mammary artery preparation is complete, the vein can return to its original position, without having suffered any

injury. To the best of our knowledge, none of the few groups that in their articles indicate to preserve the mammary vein in performing this technique, have published experiences with similar maneuvers proposed by our team.

FIFTH MODIFICATION

Distal division of the hemoduct before concluding its dissection

All the classic mammary artery dissection techniques stipulate that the artery should be kept connected and permeable at both ends throughout the procedure. Obviously, once the distal occlusion has been made, great advantages will not be awarded to the strategy of keeping it anchored to the thoracic wall. Perhaps, the only benefit will be the need for less manipulation of the vessel while it is dissected.

It has only been found an author who, during the beginning of his pedicle dissection technique, divides the mammary artery distally to fix it with a point that allows him to pull towards one side or the

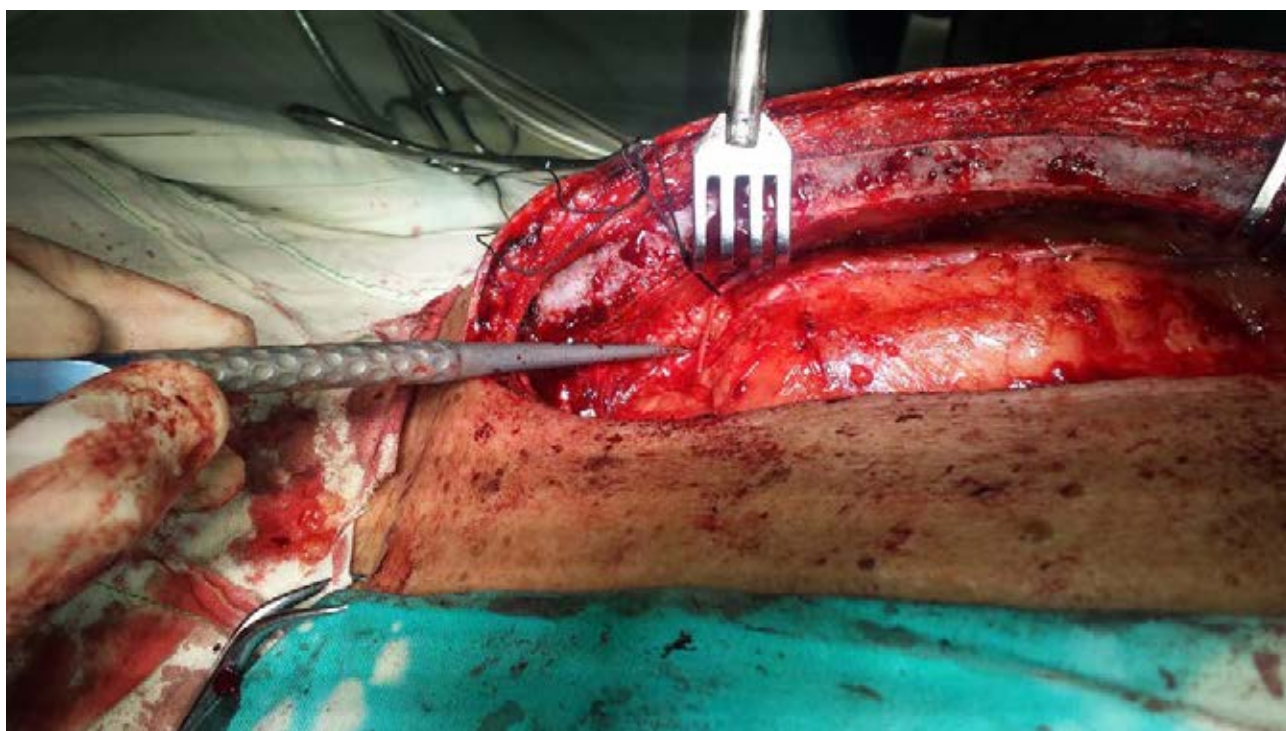


Figure 3. The mammary vein, interposed on the proximal course of the homonymous artery, has been displaced (by traction) by means of an anchoring to facilitate the dissection of the hemoduct without needing to do without it.

other during the division of the branches in a caudocephalad direction⁴⁰. We mention this isolated experience as the physiological basis of the modification that will be proposed next, but it is not considered that the aforementioned strategy is advisable in an artery that lacks a pedicle.

However, according to the surgeon's judgment, the distal division of the hemoduct may be convenient before having finished its dissection. Above all, this tactic can be a complement to the fourth modification, already commented, with the aim of avoiding injury to the venous drainage. Sometimes, despite having separated the vein, the mobility of the artery is still deficient, and cutting it distally – after administering the heparin– increases the possibilities of positional modifications of the hemoduct available to the surgeon, which can facilitate the division of branches that may still be difficult to access. In another scenario, the mammary vein can interpose between the artery and the coronary artery to be revascularized; the surgeon can slide the hemoduct, after cutting distally, “behind” the vein, and take at this time, if necessary, measures allowing to prolong

its length, or take a straight path to the target coronary (**Figure 4**).

Before concluding, it is important to emphasize that the first three modifications presented are usually practiced in all IMA dissected by the authors of this work. The implementation of the last two is optional and obviously depend on the anatomical characteristics, especially the mammary vein.

FINAL COMMENT

The effectiveness and advantages of the modifications that have been exposed have been demonstrated during a period of two years, but in a small number of patients, when compared with the large series published by groups of centers with higher operative volumes. The authors tacitly recommend to other surgical teams the introduction of these modifications in their skeletonized dissection techniques of the IMA, but they are aware that experience is needed in a greater number of patients to arrive at more solid conclusions.



Figure 4. The mammary artery is being slipped behind the vein to facilitate dissection of the proximal segment and also to allow a more direct route to the target coronary.

REFERENCES

1. Vineberg A, Miller G. Internal mammary coronary anastomosis in the surgical treatment of coronary artery insufficiency. *Can Med Assoc J.* 1951;64(3):204-10.
2. Sewell WH. Results of 122 mammary pedicle implantations for angina pectoris. *Ann Thorac Surg.* 1966;2(1):17-30.
3. Cunningham JM, Gharavi MA, Fardin R, Meek RA. Considerations in the skeletonization technique of internal thoracic artery dissection. *Ann Thorac Surg.* 1992;54(5):947-50.
4. Gurevitch J, Kramer A, Locker C, Shapira I, Paz Y, Matsa M, *et al.* Technical aspects of double-skeletonized internal mammary artery grafting. *Ann Thorac Surg.* 2000;69(3):841-6.
5. He GW, Taggart DP. Spasm in arterial grafts in coronary artery bypass grafting surgery. *Ann Thorac Surg.* 2016;101(3):1222-9.
6. Keeley SB. The skeletonized internal mammary artery. *Ann Thorac Surg.* 1987;44(3):324-5.
7. Satdhabudha O, Noppawinyoowong N. A randomized comparison of flow characteristics of semiskeletonized and pedicled internal thoracic artery preparations in coronary artery bypass. *J Cardiothorac Surg [Internet].* 2017 [citado 26 May 2018];12(1):28. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5434624/pdf/13019_2017_Article_589.pdf
8. Ji Q, Xia L, Shi Y, Ma R, Shen J, Lai H, *et al.* In Situ Skeletonized Right Internal Mammary Artery Bypass Grafting to Left Anterior Descending Artery: Feasibility, Mid-Term Efficacy, and Risk Factors for Graft Failure. *Int Heart J.* 2018;59(1):35-42.
9. Gatti G, Dell'Angela L, Maschietto L, Luzzati R, Sinagra G, Pappalardo A. The impact of diabetes on early outcomes after routine bilateral internal thoracic artery grafting. *Heart Lung Circ.* 2016;25(8):862-9.
10. Robinson BM, Paterson HS, Naidoo R, Dhurandhar V, Denniss AR. Bilateral internal thoracic artery composite Y grafts: Analysis of 464 angiograms in 296 patients. *Ann Thorac Surg.* 2016;101(3):974-80.
11. Luzurier Q, Le Guillou V, Lottin M, Vermeulin T, Marini H, Petel T, *et al.* Is the risk of wound infection related to bilateral internal thoracic artery graft potentiated by age? *Ann Thorac Surg.* 2016;102(4):1239-44.
12. Sahar G, Shavit R, Yosibash Z, Novack L, Matsa M, Medalion B, *et al.* The physiological and histologic properties of the distal internal thoracic artery and its subdivisions. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2015;149(4):1042-50.
13. Harky A, Mohammad HA, Garner M, Ali M, Alani MS. Anomalous right internal thoracic artery terminating in the right superior pulmonary vein. *Ann Thorac Surg.* 2017;104(4):e323-4.
14. Sajja LR, Mannam G. Internal thoracic artery: Anatomical and biological characteristics revisited. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2015;23(1):88-99.
15. Onan B, Yeniterzi M, Onan IS, Ersoy B, Gonca S, Gelenli E, *et al.* Effect of electrocautery on endothelial integrity of the internal thoracic artery: ultrastructural analysis with transmission electron microscopy. *Tex Heart Inst J.* 2014;41(5):484-90.
16. Martínez Comendador JM, Castaño M, Álvarez JR. Biología y resultados de la arteria mamaria interna. *Cir Cardiovasc.* 2011;18(4):269-75.
17. Honda K, Okamura Y, Nishimura Y, Uchita S, Yuzaki M, Kaneko M, *et al.* Graft flow assessment using a transit time flow meter in fractional flow reserve-guided coronary artery bypass surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2015;149(6):1622-8.
18. Hwang HY, Koo BK, Yeom SY, Kim TK, Kim KB. Endothelial shear stress of the saphenous vein composite graft based on the internal thoracic artery. *Ann Thorac Surg.* 2018;105(2):564-71.
19. Saha KK. Graft spasm – The Achilles heel of arterial grafts. *Indian Heart J.* 2017;69(5):571-2.
20. Kociszewska K, Malinowski M, Czekaj P, Deja MA. What is the source of anticontractile factor released by the pedicle of human internal thoracic artery? *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2015;21(3):301-7.
21. Manenti A, Roncati L. Nervous network of skeletonized internal thoracic artery. *Ann Thorac Surg.* 2013;95(4):1511-2.
22. Picichè M. Noncoronary collateral myocardial blood flow: The human heart's forgotten blood supply. *Open Cardiovasc Med J.* 2015;9:105-13.
23. Al-Atassi T, Toeg HD, Chan V, Ruel M. Coronary Artery Bypass Grafting In: Sellke FW, del Nido PJ, Swanson SJ, eds. *Sabiston & Spencer: Surgery of the chest.* 9^a ed. Philadelphia: Elsevier; 2016. p. 1551-88.
24. Ahmed S, Raman SP, Fishman EK. CT angiography and 3D imaging in aortoiliac occlusive disease: Collateral pathways in Leriche syndrome. *Abdom Radiol (NY).* 2017;42(9):2346-57.
25. Hutchison SJ. Coarctation and Atresia of the Aorta. In: Hutchison SJ, Eagle KA, Diethrich EB, Pe-

- terson MD. Aortic Diseases Clinical Diagnostic Imaging Atlas. Philadelphia: Elsevier; 2009. p. 271-96.
26. Andreas M, Zeitlinger M, Hoferl M, Jaeger W, Zimpfer D, Hiesmayr JM, *et al.* Internal mammary artery harvesting influences antibiotic penetration into presternal tissue. *Ann Thorac Surg.* 2013; 95(4):1323-9.
 27. Pasrija C, Ghoreishi M, Shah A, Rouse M, Gammie JS, Kon ZN, *et al.* Bilateral internal mammary artery use can be safely taught without increasing morbidity or mortality. *Ann Thorac Surg.* 2018; 105(1):76-82.
 28. Nakahara Y, Yoshida S, Kanemura T, Yamagishi S, Tochigi S, Osaka S. Bilateral internal thoracic artery grafts in hemodialysis: A single-center propensity score analysis. *Ann Thorac Surg.* 2018; 105(1):153-9.
 29. Hudson CL, Moritz AR, Wearn JT. The extracardiac anastomoses of the coronary arteries. *J Exp Med.* 1932;56(6):919-25.
 30. Stoller M, Seiler C. Effect of permanent right internal mammary artery closure on coronary collateral function and myocardial ischemia. *Circ Cardiovasc Interv* [Internet]. 2017 [citado 20 Feb 2018];10(6):e004990. Disponible en: https://www.ahajournals.org/doi/pdf/10.1161/CIR_CINTERVENTIONS.116.004990
 31. Sever AJ, Patel C, Albeer Y, Darian VB. The technique and benefits of angiographic embolization of inferior epigastric arteries prior to pedicled TRAM flap breast reconstruction: Results from a single center. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2017; 40(12):1845-50.
 32. 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(6):790-3.
 33. Schwabegger AH. Deformities of the anterior thoracic wall. In: *Congenital Thoracic Wall Deformities Diagnosis, Therapy and Current Developments.* New York: Springer-Verlag; 2011. p. 3-56.
 34. 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(5):1942-53.
 35. Ding WJ, Ji Q, Shi YQ, Ma RH, Wang CS. Incidence of deep sternal wound infection in diabetic patients undergoing off-pump skeletonized internal thoracic artery grafting. *Cardiology.* 2016; 133(2):111-8.
 36. Papaspyros S, Zamvar V. Operative Techniques: Coronary Artery Bypass Graft Surgery. In: Lanzer P, ed. *PanVascular Medicine.* Berlin: Springer-Verlag; 2015. p. 2351-8.
 37. Vineberg AM, Becerra A, Chari RS. The influence of the Vineberg sponge operation upon the hydrostatics of the myocardial circulation in health and disease: Evidence of luminal ventricular circulation in the beating heart. *Can Med Assoc J.* 1961;85(20):1075-90.
 38. Parissis H, Chughtai Z, Soo A. Two questions on bilateral internal mammary artery usage. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2013;21(6):751-5.
 39. Schipper RJ, Lobbes MB, Dikmans RE, Beets-Tan RG, Smidt ML, 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(2):177-84.
 40. Punjabi PP, Chan KMJ. Coronary artery bypass grafting. In: Punjabi PP, ed. *Essentials of Operative Cardiac Surgery.* Switzerland: Springer International Publishing; 2015. p. 67-79.

APPENDIX

Advantages of the internal mammary artery distal occlusion

1. Early start of the recognized advantages of the IMA distal occlusion: Some studies¹⁶ have shown that mammary tumors have a low initial flow, which doubles after 15-20 minutes of increased hydrostatic pressure, favored by beats against the obstacle that the clamp represents. To move forward the occlusion time has allowed us, in many cases, to obtain hemodialysis with a flow close to or greater than 2 ml per heartbeat immediately after cutting the artery (120 ml in one minute at a heart rate of 60 beats/minute). The achievement in a shorter period of time of a hemoduct with these characteristics will allow the construction of healthier bridges with the consequent decrease in spasms, flow competition and development of the mammary hypoperfusion syndrome. It should be remembered that fluorescence imaging studies have shown that blood flow enhancement, during flow competition, begins in the native coronary artery and spreads retrograde to the mammary graft, through the anastomotic site¹⁷. If this is added the knowledge that the increase in the

shear forces within the vessel (derived tangential forces of friction of the blood flowing on the endothelial surface) increase the expression of endothelial synthase of nitric oxide¹⁸ and, accordingly, the diameter of the hemoduct, then, the enormous benefits of obtaining an IMA with the highest possible flow will be understood.

These add to other undoubted advantages of high diameters and flows in these hemodialysis, in any surgical strategy that is implemented; to go deeper into them is beyond the scope of this article.

2. The increase in the diameter and flow of the IMA is also benefited by the possible local factors present in its bed. For years, several groups have studied the possible presence of nerve or humoral factors in the vessel, in the thoracic wall or mammary periarterial adipose tissue, which decrease the possibility of spasm and facilitate dilatation of the artery with a consequent greater flow¹⁹. The detailed analysis of these studies also exceeds the objectives of this study, but the theoretical presence of these factors has led some groups, for example, to favor pedunculated dissection of the IMA on the presumed basis that its caliber will be greater if it benefits from an anti-contractile substance present in periarterial fat. Whether or not these factors exist^{20,21}, the fact is that dilation of the hemoduct will be favored once it has been completely skeletonized. In theory, to move forward the clamp's placement will allow the mammary artery, over an extended period of time, adding the increased hydrostatic pressure and the benefits of possible vessel-relaxing factors present in the layer; the current techniques, when placing the clamp once the IMA has been separated from the wall, decrease the incidence of local factors on the diameter of the vessel.

3. It favors the visualization and control of branches: As the diameter and flow of the IMA increases, the same happens with the vessels that are born from it. Thus, branches with more flow and caliber also tend to get longer, making it easy to control, especially in the technique "only with clips and scissors." If the surgeon visualizes the branches better, it is easier to control them, what decreases the time of dissection.

4. Intentional increase of irrigation to organs at risk of ischemia or infection, by means of the physiological redirection of the blood flow of the IMA, during its dissection. This is perhaps the most important

benefit obtained from the distal placement of the clamp. For many years, the significant potential for plasticity that the IMA can exhibit in the presence of an obstruction to the anterograde flow has been known²². It is also widely recognized the ability of mammary arteries to increase their diameters and flows in an important way, to serve as a collateral route for irrigation to distant organs, in diseases that are accompanied by significant stenosis of the aorta, such as Leriche syndrome^{23,24} or coarctation of the aorta²⁵. In this case, the occlusion of the distal end of the artery will allow, during the duration of the dissection, a redistribution and increase of blood flow in other organs, in the following ways:

- To the sternum and peristernal tissues. While there are sternal or perforant branches without clamping, the flow of the IMA, not having –in those circumstances– its distal drain, will be redirected in that sense. An additional advantage of this new increase in blood flow is that it is accompanied by the antibiotic administered as prophylaxis. Perhaps, the biggest inconvenience, apparently never studied, of allowing the integrity of the mammary flow during its dissection, is that a significant amount of the antibioprophyllaxis is irremediably removed from the operative field, which is totally counterproductive since the only function of this dose of antimicrobial is precisely to avoid infection of the surgical site. One study²⁶ has at least indicated that the smaller peak concentration of antibioprophyllaxis is reached in the hemisternum being dissected one hour after the administration of 4 grams of cefazolin (a higher dose than that used in our mean); from that minute, a constant decrease in concentration begins. The premature distal occlusion of the mammary artery will force the antibiotic that runs through it, from that moment, to impregnate the sternum and other mediastinal tissues, which will then be subjected to a high risk of infection, especially when dissecting both IMA^{27,28}.

- To the heart: The occlusion of the mammary before its bifurcation favors an increase of the non-coronary collateral blood flow to the heart, in two ways:

- Anterograde: Through the pericardiofranic branch. Since the 1930s, it has been known that this artery is the main source of extracardiac irrigation of the heart²⁹. Until 1959, several surgeons used distal ligation of the mammary arteries as a way to increase the irrigation of the heart, on the basis that a local hyperten-

sive status would produce an increase in perfusion pressure within channels, especially the pericardiophrenic, which would reach the myocardium²². Presumably, the development of the extracorporeal machine and other ethical issues slowed this practice, but the theory on which it is based is still valid, to the point that recently, this option has again been considered in situations where other therapeutic variants cannot be applied³⁰.

- Retrograde: Through the connections of the inferior and superior epigastric arteries, musculophrenic, phrenic and pericardiophrenic at the level of the diaphragm¹⁴. The existing communication between the superior and inferior epigastric arteries³¹ that is well known, constitutes the aforementioned important collateral route to the lower limbs. Conversely, there is therefore a retrograde flow from the common iliac artery, through both epigastric to the internal mammary system that can be used to bridge distal segments of the anterior descending artery³².

Because the proximal clamp was placed to the bifurcation and it is retained, therefore the full communication between the upper and musculophrenic⁷, epigastric branches is guaranteed –in addition to the accentuation of the diameter of the distal end (to follow the same principles of increasing retrograde hydrostatic pressure)–, an increase in the irrigation of the heart through the already mentioned anastomosis between the musculophrenic and pericardiophrenic artery at the diaphragm level. On the right side must be added another source of consistent retrograde blood flow in branches' anastomosis of the hepatic artery through the falciform ligament with small branches of the right mammary artery¹⁴.

5. Ischemic preconditioning of the heart? This possible advantage needs to be deeply studied. The extensive collateral relationships that are established around the IMA make the development of ischemia by distal vessel occlusion unlikely, but if it occurs at some level, an ischemic preconditioning mechanism would favor the heart earlier as it occurs in the case of the classic skeletonization technique.