

# Disección del miocardio

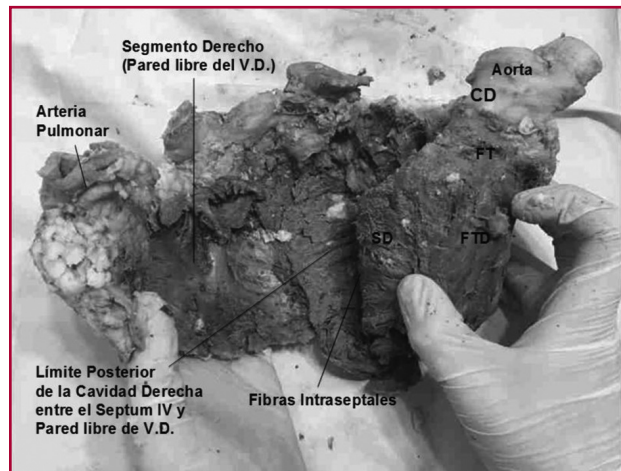
## Myocardium Dissection

JORGE C. TRAININI<sup>MTSAC, 1</sup>, JESÚS HERREROS<sup>2</sup>, BENJAMÍN ELENCAWAJG<sup>3</sup>, ALEJANDRO TRAININI<sup>1</sup>, NOEMÍ LAGO<sup>MTSAC, 1</sup>, NÉSTOR LÓPEZ CABANILLAS<sup>MTSAC, 3</sup>, JORGE M. LOWENSTEIN<sup>MTSAC, 4</sup>

### I. CONSIDERACIONES PREVIAS

La anatomía tradicional del corazón consideró que la estructura muscular que conformaba el miocardio era homogénea y compacta. Debido a este concepto se lo describió con una superficie externa y otra interna, delimitando una masa muscular uniforme. Esta concepción estructural no justifica la mecánica cardíaca; por lo tanto, es imprescindible poder vislumbrar su verdadera anatomía interna. Históricamente, muy poca importancia se le atribuyó a la disposición espacial de los trayectos fibrosos que componen el miocardio. En 1980, Francisco Torrent Guasp (1) define la anatomía del corazón adaptada a la realidad fisiológica. Esta situación de estudio tiene correlación con una máquina orgánica, como es la cardíaca, que presenta características notables tales como la de ser una bomba aspirante-impelente de un tamaño equivalente a un puño humano y un peso promedio de 270 gramos, que impulsa de 4 a 6 litros/minuto a una velocidad de 300 cm/s, de tener un consumo de solo 10 vatios, de trabajar sin interrupción durante 80 años sin mantenimiento, casi sin ruido, sin humo. Su tarea es equivalente a extraer de 1 m de profundidad 1 tonelada de agua diaria con una eficiencia mecánica (relación trabajo/energía) del 50%, no alcanzada por las máquinas construidas por el hombre, las cuales llegan solamente al 30%. Su eficacia permite expulsar el 70% del contenido ventricular izquierdo con solo un 12% de acortamiento en su unidad contráctil, el sarcómero.

Torrent Guasp demostró a través de múltiples disecciones en corazones de distintas especies, incluso la humana, que el miocardio ventricular está constituido por un conjunto de fibras musculares retorcidas sobre sí mismas semejando una cuerda (modelo de la cuerda) (Figuras 1 y 2), aplanada lateralmente a modo de una banda, que al dar dos vueltas en espiral define un helicoide que delimita los dos ventrículos y conforma su funcionalidad. (2, 3) Esta estructura se halla avalada por el proceso evolutivo que sucede desde el primitivo



**Fig. 1.** Banda muscular de Torrent Guasp. El ventrículo derecho ha sido separado del izquierdo a lo largo del surco interventricular anterior. Esta maniobra permite evidenciar las fibras del trigono derecho (FTD) que se insertan por debajo del nacimiento de la coronaria derecha (CD). Estas fibras se insertan en la aorta pasando por debajo de las fibras transversales (FT). SD: Segmento descendente. V.D.: Ventrículo derecho.



**Fig. 2.** Banda muscular en el modelo de la cuerda. Se muestran los diferentes segmentos que la componen. En azul: lazada basal. En rojo: lazada apexiana (véase imagen color en la web). AP: Arteria pulmonar. A: Aorta.

REV ARGENT CARDIOL 2017;85:44-50. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v85.i1.10198>

**Dirección para separatas:** Jorge C. Trainini - Brandsen 1690 - 3.º Piso, Dpto. A - (1287) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina - e-mail: jctrainini@hotmail.com

<sup>MTSAC</sup> Miembro Titular de la Sociedad Argentina de Cardiología

<sup>1</sup> Departamento de Cirugía Cardíaca, Hospital Presidente Perón. Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup> Departamento de Cirugía Cardíaca, Universidad Católica San Antonio (UCAM). Murcia, España

<sup>3</sup> Departamento de Electrofisiología, Hospital Presidente Perón. Buenos Aires, Argentina

<sup>4</sup> Departamento de Ecocardiografía, Investigaciones Médicas. Buenos Aires, Argentina

tubo circulatorio de los anélidos hasta los mamíferos en cuyo circuito arterial sucede un bucle o doblez, que se enrosca sobre sí mismo, para constituir las cámaras ventriculares. La luz del tubo primario establece una comunicación secundaria entre ambas cámaras adyacentes que quedan conformadas (ventrículos) por el bucle, dando por supuesto que el lado del tubo donde se produce la interconexión debió hendirse a todo lo largo para lograr este propósito. Con lo expresado hallamos que la disposición espacial y el movimiento de rotación de las fibras ventriculares en su disposición anatómica, tanto a nivel de la base como de la región apical, hallan correspondencia con la banda muscular miocárdica. Sin embargo, esta anatomía que permite desenrollar el corazón y llevarlo a conformar una banda muscular no fue considerada con criterios de validez hasta el momento luego de su descripción original.

Ante la crítica o indiferencia a la banda helicoidal miocárdica propuesta por Torrent Guasp –creemos que por falta de información y de la técnica anatómica necesaria para objetivarla–, podemos oponer la confirmación de ella a través de: 1) la disección del corazón, 2) el concepto evolutivo que surge desde la filogenia, 3) los nuevos procedimientos de imágenes obtenidas con resonancia magnética por tensor de difusión, (4-6) 4) los recientes estudios electrofisiológicos llevados a cabo con el mapeo electroanatómico tridimensional. (7-11) En relación con la dificultad esgrimida en la disección del miocardio, la cual es aparente, debemos considerar que nacida la banda miocárdica como un bucle en el hemicírculo arterial de los anfibios y reptiles, con el fin de adaptarse a la mecánica fisiológica de la vida aérea, los haces musculares se fueron adosando en sus capas con cierta intensidad en sus superficies de contacto volviendo un tanto dificultoso lograr los planos de clivaje necesarios para su disección.

Una explicación para esta homogeneización muscular, más aparente que real, implica considerar la funcionalidad requerida en las aves y en los mamíferos para que la sangre se impulse a una velocidad alta en un tiempo acotado por un órgano que debe abastecer a dos circulaciones (sistémica y pulmonar). A pesar de todas estas consideraciones, la disección del miocardio halla una estructura con planos definidos donde se suceden los movimientos fisiológicos sucesivos y concatenados de estrechamiento, acortamiento-torsión, alargamiento-destorsión y ensanchamiento del corazón, dependientes de la propagación del estímulo eléctrico por sus trayectos musculares. (7)

Las fibras musculares que conforman al miocardio no pueden considerarse como entidades independientes dentro de un espacio determinado. A pesar de lo intrincado que puedan ser los manojos de fibras con apariencias poligonales, que además reciben y dan fibras colaterales, se halla definido un trayecto predominante de las fibras centrales con planos de deslizamiento, las cuales conforman en conjunto la banda muscular miocárdica. No se debe olvidar que el miocardio constituye un continuo espiralado en sus

fibras que obedecen al patrón helicoidal en sus haces musculares. Esta disposición implica la necesidad de generar un trabajo mecánico que disipe poca energía. Por este hecho, las fibras dispuestas en capas van sesgando su dirección muy gradualmente entre ellas, con ángulos más o menos agudos, para evitar que cambios bruscos en la orientación espacial dilapiden el trabajo necesario para la función cardíaca.

Más allá de esta complejidad, se debe establecer el concepto de trayectorias lineales y laminares. Haces y bandas musculares miocárdicas en esencia conforman un eje maestro que es de estricta necesidad dinámica, los cuales derivan del desarrollo filogenético. La estructura muscular espacial adoptada por la banda muscular tiene una doble función: a) dejar limitadas las cavidades ventriculares y b) cumplir la acción de succión e impulsión en su carácter de bomba cardíaca.

## II. DISECCIÓN DEL MIOCARDIO

El corazón que se ha de diseccionar (el de bovino es un buen modelo) se debe someter a ebullición en agua a la que se debe agregar ácido acético (15 cm<sup>3</sup> por litro). El tiempo de ebullición es de unas dos horas y media, salvo que se utilice un recipiente a presión, con lo cual el tiempo requerido es de la mitad. Los trabajos previos al inicio de desenrollar la banda muscular consisten en separar las aurículas de los ventrículos en una maniobra muy sencilla que atestigua orígenes evolutivos diferentes entre ambos tipos de cámaras, seccionar la aorta y la arteria pulmonar a unos tres centímetros de sus nacimientos, separarlas del adosamiento que estos vasos poseen entre sí y por último incidir en forma longitudinal las fibras superficiales (interbandeletas o aberrantes) (2, 7) que se extienden por la cara anterior de los ventrículos en forma transversal. La ebullición previa de la pieza anatómica permite que todos estos pasos se realicen con facilidad.

La maniobra clave para lograr el desenrollado miocárdico consiste en introducirse en el surco interventricular anterior en forma roma, lo cual permite dejar en el lado izquierdo del operador el extremo de la banda que corresponde al origen en la arteria pulmonar y a su contigüidad con la pared libre del ventrículo derecho (segmento derecho). A continuación se ejerce tracción hacia el mismo lado izquierdo, separando el triángulo fibroso derecho (perteneciente a la aorta), lo que permite dejar a la arteria pulmonar totalmente liberada del resto de la banda. La prosecución en la disección de la banda implica encontrarse con toda la extensión del segmento derecho, el inicio del segmento izquierdo y en el límite posterior de la cavidad ventricular derecha con el ángulo diedro constituido por el *septum* interventricular y la pared libre del ventrículo derecho (segmento derecho).

El próximo paso (el más delicado) consiste en introducirse en el ángulo diedro mencionado anteriormente, entre las fibras del ventrículo derecho y las intraseptales. Esta separación del ventrículo derecho permite

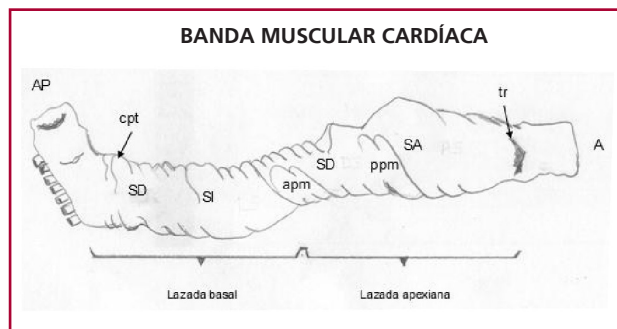
ingresar en un clivaje entre la banda septal anterior y la banda intraseptal (segmento final de la banda muscular), en la parte ventral del tabique. Luego se disecciona la parte dorsal del tabique entre la banda septal posterior y el segmento descendente izquierdo para desmontar y separar la aorta.

Finalmente, en forma roma se separan los trayectos de los planos musculares del segmento descendente de los del segmento ascendente y se deja a los trígonos en continuidad con la aorta en el extremo opuesto de la banda, a la derecha del operador, permitiendo extender la banda en toda su longitud.

En la Figura I (Material suplementario) se puede observar la secuencia del desenrollado miocárdico hasta quedar transformado en una banda muscular. En la Figura 3, un esquema detalla los distintos segmentos que la constituyen, así como las inserciones de la arteria pulmonar en el cordón pulmotricuspidé y de la aorta en los trígonos derecho e izquierdo, extremos que componen el inicio y el fin de la banda, muy próximos entre sí en el corazón intacto. La longitud de la banda desenrollada en un corazón bovino normal de adulto es de unos 61 cm.

La **pared libre del ventrículo derecho** se halla constituida por dos contingentes de fibras musculares (Figura II, Material suplementario), que se cruzan en su trayecto en equis. Uno es el fascículo derecho subepicárdico, que procede del surco interventricular posterior descendiendo hacia el ápex. El segundo es el fascículo derecho subendocárdico, que desde la raíz de la arteria pulmonar se extiende hasta el surco interventricular posterior. Entre ambos haces se detallan otras fibras intermedias que van sesgando su dirección gradualmente de acuerdo con el plan espiralado del miocardio en su integridad funcional.

El fascículo derecho subepicárdico, de orientación transversal, define el orificio tricuspídeo por detrás y lateralmente. Se halla constituido por dos bandas. Una, la ventral, llamada banda septal anterior, finaliza en el cordón pulmotricuspidé. La otra, dorsal, denominada banda septal posterior, termina en el borde del orificio tricuspídeo y en la pared libre del ventrículo derecho.



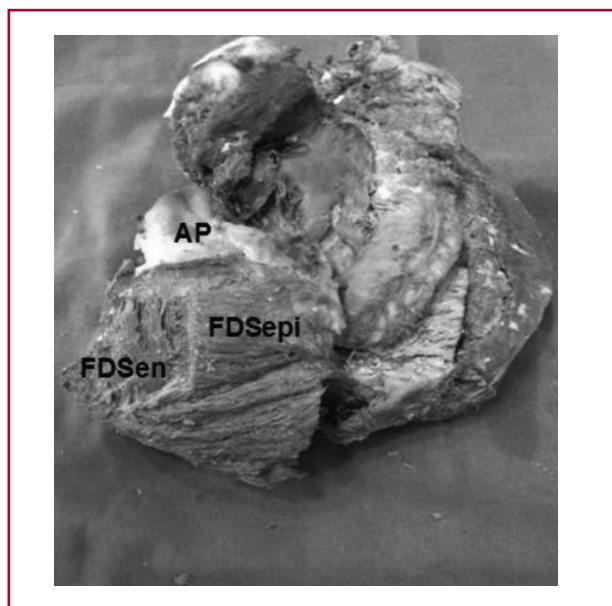
**Fig. 3.** Esquema aclaratorio de los segmentos de la banda muscular. A: Aorta. AP: Arteria pulmonar. SD: Segmento derecho. SI: Segmento izquierdo. SD: Segmento descendente. SA: Segmento ascendente. cpt: Cordón pulmotricuspidé. tr: Trígonos. apm: Músculo papilar anterior. ppm: Músculo papilar posterior.

Entre ambas en sus inserciones terminales queda delimitado un pequeño triángulo de base superior tricuspídeo, que constituye el septo membranoso.

Si se reseca el fascículo derecho subepicárdico (Figura 4), se observa más profundo el fascículo derecho subendocárdico, casi vertical en su dirección, que también consta de dos grupos de fibras: a) la banda pulmonar (se inserta en la arteria pulmonar) y b) la banda del tabique (también llamada del puente) (Figura III, Material suplementario). Esta última termina en el tabique interventricular constituyendo además un rafe, el cordón pulmotricuspidé, en un trayecto ubicado entre la arteria pulmonar y la tricúspide.

Con esto se define que la estructura muscular del ventrículo derecho (segmento derecho de la banda), constituida por cuatro contingentes de fibras (pulmonar, del tabique, septal anterior y septal posterior), se genera en la raíz de la arteria pulmonar, en el cordón pulmotricuspidé y en el borde de la válvula tricúspide, dando origen a la banda muscular de Torrent Guasp.

Al abordar la disección por fuera del **ventrículo izquierdo** se hallan dos contingentes de fibras (Figura IV, Material suplementario) constituidos por haces musculares en sentido ascendente (pertenecientes al segmento ascendente). Un grupo alcanza el trígono izquierdo, denominado banda del trígono izquierdo (por debajo de la arteria coronaria izquierda). El segundo grupo de fibras musculares sigue una dirección paralela a la anterior y cuando discurren en el surco interventricular anterior pasan entre el ventrículo derecho y el tabique hasta alcanzar la aorta por debajo del nacimiento de la arteria coronaria derecha (trígono derecho), cursando por debajo de un grupo de fibras llamadas transversales. Este fascículo toma la denominación de banda del trígono derecho. Si se separa el ventrículo derecho del



**Fig. 4.** AP: Arteria pulmonar. FDSeppi: Fascículo derecho subepicárdico. FDSen: Fascículo derecho subendocárdico.

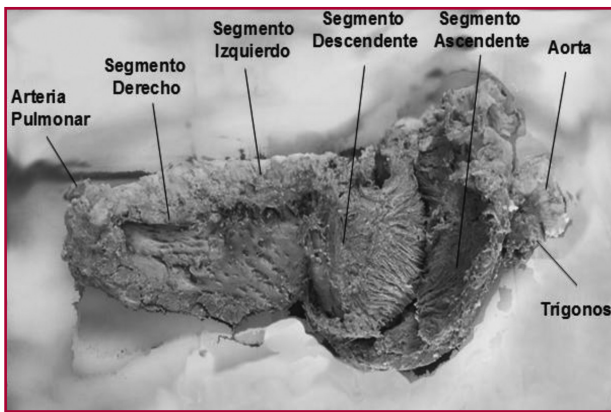


izquierdo, las fibras que alcanzan el trígono derecho se evidencian con mayor claridad (véase Figura 1).

En la Figura 5 se muestran en detalle las fibras musculares de los segmentos descendente y ascendente, para lograr el efecto mecánico de torsión ventricular a través de su dirección espiralada.

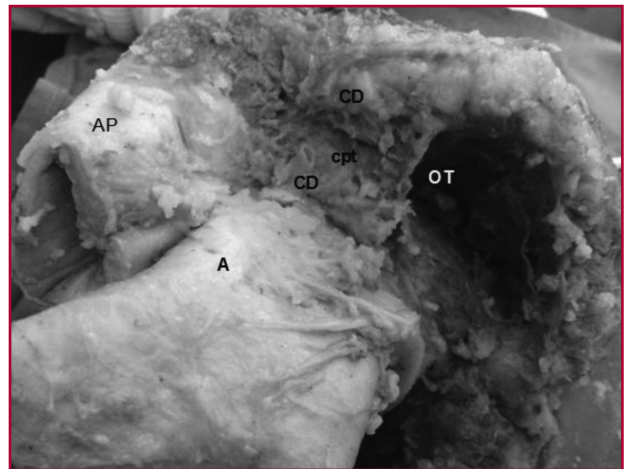
En la Figura V (Material suplementario), al separar en forma artificiosa la cara anterior del ventrículo izquierdo, puede distinguirse la raíz de la aorta (trígonos) donde se inserta el extremo final de la banda muscular. En la Figura VI (Material suplementario), al retirar la valva septal de la mitral que se halla ubicada entre ambos trígonos, pueden observarse en detalle los trígonos derecho e izquierdo, los cuales tienen una consistencia fibrosa con una solidez homogénea diferente del trayecto muscular. Esta inserción debe entenderse como un punto de apoyo final de la banda muscular a nivel de su segmento ascendente, así como el inicio de la banda con su segmento derecho (Figura VII, Material suplementario, y Figura 6) se amarra al cordón pulmotricuspidé (trayecto entre la arteria pulmonar y el anillo tricuspídeo). En cambio, la valva posterior de la mitral debe considerarse una extensión del endocardio ventricular. En la Figura 7 se muestra una síntesis de las bandas que componen la cuerda muscular.

La fijeza y la consistencia del cordón pulmotricuspidé y de los trígonos permiten un punto fijo para



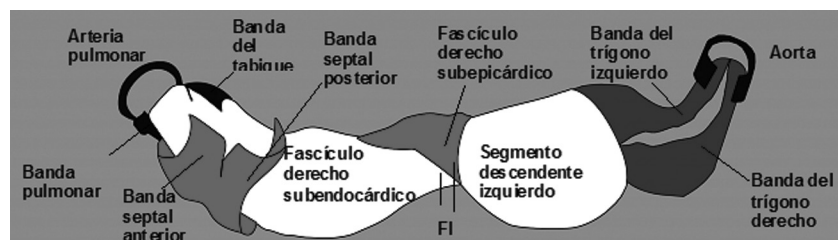
**Fig. 5.** Fibras de los segmentos descendente y ascendente. Se puede observar cómo las fibras se van espiralando de acuerdo con la estructura helicoidal.

que la banda rote en hélice con sus movimientos fundamentales de acortamiento-torsión y alargamiento-destorsión. Torrent Guasp (1) consideraba que la musculatura cardíaca carece de un punto de apoyo fijo como los que ostenta el sistema muscular para cumplir su función de fuerza. En este sentido analizaba que la banda muscular actuaría como lo hace la musculatura circular de las arterias; por lo tanto, se apoyaría sobre el propio contenido de la cavidad (hemoesqueleto). Más allá de este posible mecanismo, consideramos que la banda muscular, al amarrarse en su nacimiento y terminación a los grandes vasos, a través de los trígonos derecho e izquierdo, cordón pulmotricuspidé y anillo tricuspídeo, de consistencia fibrosa y diferente de la muscular, encuentra su punto de inserción para lograr la palanca necesaria al igual que lo hace un músculo con su inserción ósea. Este punto de fijación podría considerarse similar a la función que ejerce un cojinete evitando que la fuerza de rotación ventricular, ya sea por torque o esfuerzo de torsión, se traslade a la aorta logrando disipar de esta forma la energía que produce el movimiento del hélix. En relación con este punto, los analizados puntos de fijación se convierten en una pieza que soporta y permiten a la banda ejercer los movimientos rotatorios fundamentales del ventrículo



**Fig. 6.** Se observa en detalle el cordón pulmotricuspidé (cpt) entre el orificio tricuspídeo (OT) y la arteria pulmonar (AP), donde se inicia la banda muscular miocárdica. Se ha procedido a la sección de la coronaria derecha (CD) para hacer evidente el trayecto del cordón. A: Aorta.

**Fig. 7.** Composición de la banda muscular. Referencia FI: Fibras interventriculares.



izquierdo. No dejemos de considerar que el corazón es un péndulo dentro de la caja torácica sin amarras salvo esos puntos del inicio y del fin de la banda muscular, muy cerca uno del otro, apenas yuxtapuestos al nacimiento de la aorta.

En conclusión, la disposición espacial y el movimiento de rotación de las fibras ventriculares hallan correspondencia con el plan arquitectónico de la banda muscular. Se ha hecho hasta el momento de la circulación sanguínea por las diferentes cámaras del corazón una interpretación clásica que no guarda correlación con su dinámica muscular. Y esta, en última instancia, es el motor de la circulación establecida por la banda cardíaca, la cual además define con su musculatura los límites de las cavidades por donde circula la sangre. Esta disposición espacial de la banda, fundamentalmente a nivel de los segmentos descendente y ascendente, es la que le otorga a las cavidades ventriculares los movimientos de acortamiento-torsión y alargamiento-destorsión fundamentales de la función cardíaca.

### III. INTERPRETACIÓN

**Segmentación de la banda muscular.** Las cámaras ventriculares están definidas por la banda muscular de Torrent Guasp. Esta describe dos vueltas en espiral con inserción de uno de sus extremos en el trayecto que se extiende desde la arteria pulmonar hasta el orificio de la tricúspide en el denominado cordón pulmotricúspideo, por delante de la aorta, mientras que el otro lo hace en la raíz aórtica, en los trígonos derecho e izquierdo. En su trayecto, la banda toma una disposición helicoidal conformando en él las dos cámaras ventriculares. La banda miocárdica se halla conformada por dos bandeletas denominadas descendente y ascendente. La primera incluye los segmentos derecho, izquierdo y descendente; mientras que la segunda queda conformada por el segmento restante, el ascendente.

La figura en 8 determinada por este recorrido permite distinguir dos lazadas, denominadas basal y apexiana (véanse Figuras 2 y 3). La lazada basal se extiende desde la raíz de la arteria pulmonar hasta el doblez central de la banda. Por su parte, la lazada apexiana discurre desde ese doblez de la banda hasta la raíz aórtica. Cada una de ellas consta a su vez de dos segmentos. La **basal** está constituida por los segmentos derecho e izquierdo. Los pertenecientes a la **apexiana** tienen el nombre de descendente y ascendente (véase Figura 2). En la disposición integral de las lazadas, la basal abraza a la apexiana, lo cual determina que la cavidad ventricular derecha sea más bien una hendidura abierta en el espesor de la masa muscular que conforma a ambos ventrículos (véase Figura 1). En relación con los segmentos, ellos están definidos por hechos anatómicos.

**Lazada basal.** El surco interventricular posterior ofrece un valle que determina el límite entre los segmentos derecho e izquierdo de la lazada basal. El segmento derecho constituye la pared libre del ventrículo derecho y contornea por fuera el orificio de

la válvula tricúspide. El segmento izquierdo ubicado en la pared libre del ventrículo izquierdo define por fuera el orificio de la válvula mitral. Las fibras transcurren en una dirección que va desde el subepicardio al subendocardio siguiendo una trayectoria helicoidal contraria al sentido de las agujas de un reloj (corazón en su posición anatómica, sobre su cara diafragmática, visto de frente por el ápex).

**Lazada apexiana.** El segmento descendente se extiende desde la dobladura de la banda hasta el ápex. Desde ahí toma la denominación de segmento ascendente para finalizar en la raíz de la aorta. Ellos constituyen mayoritariamente el tabique interventricular. Ambos segmentos se hallan separados por el músculo papilar anterior. Igualmente a lo que sucede en la lazada basal, las fibras discurren desde el subepicardio al subendocardio, pero en este caso siguiendo una trayectoria helicoidal en sentido horario al desplazamiento de un reloj (corazón en su posición anatómica, sobre su cara diafragmática, visto de frente por el ápex).

De estos conceptos se deduce que la pared libre del ventrículo derecho está constituida por una sola lazada (basal) y la pared libre del ventrículo izquierdo por las dos (basal y apexiana). El hecho fundamental para la mecánica cardíaca es que las fibras musculares de la base y del ápex del corazón se desplazan en sentido opuesto. Esta disparidad en las direcciones comentadas tiene correlación entre las trayectorias alcanzadas por las fibras y el patrón helicoidal de la banda muscular que delimitan a los ventrículos.

**Fibras interbandeletas.** En relación con el segmento ascendente de la lazada apexiana, al llegar al surco interventricular anterior, algunas fibras en vez de continuar su camino intraseptal hacia el final de la banda en la raíz aórtica pasan a tapizar la pared libre del ventrículo derecho y llegan a la cara anterior del ventrículo izquierdo luego de cruzar por el surco interventricular posterior. Estas fibras quedan insertadas en todo el recorrido en la base ventricular que comprende los anillos de la válvula pulmonar, el tricúspideo y el mitroaórtico (véase Figura II, Material suplementario). Estos haces musculares fueron denominados por Torrent Guasp "fibras aberrantes". Incluso dejaba señalado: "Por su disposición en el espacio recubren a la lazada basal en toda su extensión, envolviendo por tanto a ambos ventrículos". (3) Incluso creía que la función de estas fibras era lograr el desplazamiento de las paredes de los ventrículos derecho e izquierdo para conseguir el ensanchamiento de las cavidades. Terminaba su relato expresando con cierto escepticismo: "Este ensanchamiento tiene, por su relativa escasa magnitud, menos importancia que la que siempre ha sido atribuida". (3)

**Origen y fin de la banda muscular.** El estudio filogenético permite comprender, a través de 600 millones de años de evolución del aparato circulatorio, que los extremos de la banda se hallan en la raíz de los grandes vasos, al ser constituida esta por un bucle del primitivo tubo circulatorio.

La musculatura que conforma el ventrículo derecho corresponde al inicio de la banda muscular (segmento derecho) que nace en estructuras fibrosas relacionadas con la arteria pulmonar y el anillo tricuspídeo (cordón pulmotricuspídeo) (véanse Figura VII, Material suplementario, y Figura 6). En relación con los haces musculares autóctonos que constituyen el ventrículo izquierdo, ellos finalizan en la raíz de la aorta en los trígonos derecho e izquierdo. La imagen de la VI, Material suplementario, demuestra que el anillo aórtico no es continuo. (8) Existe a este nivel un refuerzo fibroso en la zona de la circunferencia que incluye la valva coronariana derecha y una parte de la no coronariana y de la valva coronariana izquierda, donde se insertan las fibras del segmento ascendente.

Los trígonos y el cordón pulmotricuspídeo establecen la conexión fibrosa entre las raíces de la aorta y de la arteria pulmonar con la banda muscular. Al amarrarse a estructuras fibrosas y fijas en el origen de los grandes vasos, esta situación anatómica debe considerarse, desde la funcionalidad, un punto de inserción para impulsar la mecánica de la banda muscular. En los bordes de las válvulas mitral y tricúspide solamente se insertan algunas fibras superficiales.

**Ápex cardíaco.** El ápex –conformado únicamente por el ventrículo izquierdo– es una zona ubicada en el giro del segmento descendente en su continuidad ascendente. En este desplazamiento helicoidal de sus fibras, que de subepicárdicas se transforman en subendocárdicas, se constituye una espiral de capas musculares circularmente imbricadas, que delimitan un túnel más virtual que real, ya que la contracción sistólica lo estrecha de la misma manera que lo hace con el orificio mitral. El fondo de saco apexiano está tapizado por dentro por el endocardio y por fuera por el epicardio. A través de la transiluminación puede comprobarse esta situación (Figura VIII, Material suplementario).

De los tres giros que realiza la bandeleta descendente en relación con la ascendente, los dos primeros pasan por delante y detrás sucesivamente. El último paso vuelve a ser posterior. La disposición espacial de pasar dos veces seguidas la bandeleta descendente en posición posterior a la ascendente (véase Figura 2) le permite al ápex el juego de girar primero hacia la izquierda durante la sístole (visto desde el ápex) y luego a la derecha, en el inicio de la fase isovolumétrica con la persistencia de la contracción del segmento ascendente. La prolongación de la bandeleta descendente con la ascendente es un continuo que en ese vértice permite actuar a la lazada apexiana como un fuelle que se acorta en sístole y en la fase isovolumétrica diastólica se alarga.

Fruto de este proceso anatomofuncional es hallar un ápex con capacidad de facilitar la traslación de la base a la punta en la sístole (acortamiento) y de alejamiento de ella en la succión, logrando el alargamiento ventricular. (9) En este punto consideramos que al pasar dos veces seguidas la bandeleta descendente en

forma posterior a la ascendente permite que parte del volumen cardíaco (un 30% del volumen diastólico total) no se eyecte al final de la sístole y permanezca como volumen residual. (10) Este remanente líquido actúa con la función de capa límite para una correcta succión durante la fase isovolumétrica. (7)

El ápex no efectúa casi desplazamiento mensurable alguno. Permanece prácticamente inmóvil durante todo el ciclo cardíaco ejerciendo tan solo una cierta presión sobre la pared costal (choque de la punta). Es la base del corazón la que efectúa los desplazamientos al descender (sístole) y ascender (succión). El corazón sufre en sístole un movimiento de retropropulsión (principio de acción y reacción), siendo el ápex el mayor tributario de la fuerza retrógrada que sufre la cavidad ventricular al ser expulsada la sangre. Similar a otras zonas en el organismo de sobrecarga tensional, carece de músculo. (11) Además, está sometida a una presión final en su fondo de saco al momento del cierre de la válvula aórtica. Esta zona apexiana sin músculo interpuesto, casi inmóvil (véase Figura VIII, Material suplementario), se erige en el sitio donde se generan los aneurismas de la pared ventricular en un porcentaje del 90%.

#### IV. CONCLUSIONES

La evolución filogenética determina una anatomía del corazón que tiene correspondencia con la mecánica ventricular. La propagación eléctrica con mapeos electroanatómicos tridimensionales investigada por nosotros en seres humanos (7, 12-14) explica esta correspondencia entre estructura y función cardíaca.

En síntesis, el miocardio está constituido por tres regiones: 1) pared libre del ventrículo derecho, 2) pared libre del ventrículo izquierdo y 3) tabique interventricular. La pared del ventrículo derecho la constituye el segmento derecho de la lazada basal, mientras que la del izquierdo la conforman tanto la lazada basal (segmento izquierdo) como los segmentos descendente y ascendente de la lazada apexiana, de ahí el menor espesor estructural de la pared del ventrículo derecho.

El tabique interventricular consta de una parte ventral y otra dorsal. La primera porción la componen el segmento descendente izquierdo, la banda intraseptal (segmento final de la banda muscular) y la banda septal anterior. Los dos primeros pertenecen al ventrículo izquierdo y el restante, al ventrículo derecho. La región posterior del tabique está compuesta por el segmento descendente izquierdo (dependencia del ventrículo izquierdo) y la banda septal posterior, correspondiente al ventrículo derecho.

Se ha hecho históricamente del trayecto sanguíneo por las cámaras auriculares y ventriculares una interpretación que no guarda correlación entre estructura y función. La acción de torsión de los segmentos ascendente y descendente desde el punto de vista evolutivo permite generar presión con menor gasto energético y mejor efectividad en el trabajo.

Una propulsión lineal por un tubo circulatorio no tendría este efecto. En última instancia, la dinámica muscular es el motor de la circulación. Esta situación avalada por la anatomía del miocardio y en estricta correlación con la función cardíaca establece una unidad entre los ventrículos muy distinta del concepto de unidad auriculoventricular, que imposibilitó un conocimiento correcto de la fisiología cardíaca. La disposición horizontal de las aurículas (cámaras de dependencia venosa) se adosó al componente muscular ventricular (cámaras de dependencia arterial) en donde reside la succión y el impulso para producir el movimiento sanguíneo.

#### Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no poseen conflicto de intereses.

(Véanse formularios de conflicto de intereses de los autores en la web/ Material suplementario).

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Torrent Guasp F. La estructuración macroscópica del miocardio ventricular. *Rev Esp Cardiol* 1980;33:265-87.
2. Torrent Guasp F. Comentarios sobre la forma y la función del corazón. *Clin Cardiovasc* 1982;1:85-8.
3. Torrent Guasp F. Estructura y función del corazón. *Rev Esp Cardiol* 1998;51:91-102. <http://doi.org/6tj>
4. Poveda F, Gil D, Martí E, Andaluz A, Ballester M, Carreras F. Estudio tractográfico de la anatomía helicoidal del miocardio ventricular mediante resonancia magnética por tensor de difusión. *Rev Esp Cardiol* 2013;66:782-90. <http://doi.org/f2fnnsn>
5. Cosín-Aguilar J, Hernández Martínez A. La disposición de las fibras miocárdicas en una banda condiciona la morfología y la función del corazón. *Rev Esp Cardiol* 2013;66:768-70. <http://doi.org/f2fnsp>
6. Carreras F, Ballester M, Pujadas S, Leta R, Pons-Lladó G. Morphological and functional evidences of the helical heart from non-invasive cardiac imaging. *Eur J Cardiothorac Surg* 2006;29(Suppl 1):S50-5. <http://doi.org/cmj4sn>
7. Trainini JC, Elencwajg B, López Cabanillas N, Herreros J, Lago N, Lowenstein J. Propagación eléctrica en los mecanismos de torsión y succión en un corazón de tres tiempos. *Rev Argent Cardiol* 2015;83:420-28.
8. Torrent Guasp F. Nuevos conceptos sobre la estructura miocárdica ventricular. En: Torrent Guasp F, editor. *Estructura y mecánica del corazón*. Barcelona: Grass Ed; 1987. p. 35-97.
9. Trainini JC, Herreros J, Cabo J, Otero Coto E, Cosín Aguilar J. La bomba de succión cardíaca. Aplicación de la banda miocárdica de Torrent Guasp al tratamiento quirúrgico de la insuficiencia cardíaca. *Cir Cardiovasc* 2011;18:103-12. <http://doi.org/f2j8ts>
10. Elencwajg B, López-Cabanillas N, Cardinali EL, Barisani JL, Trainini J, Fischer A, et al. *Heart Rhythm* 2012;9:1798-804. <http://doi.org/bqqd>
11. Trainini JC, Herreros J, Otero Coto E, Cosín Aguilar J. La "duda clave" de Torrent Guasp. *Cir Cardiovasc* 2011;18:77-81. <http://doi.org/f2j8tn>
12. Trainini JC, Andreu E. ¿Tiene significado clínico la remodelación reversa quirúrgica del ventrículo izquierdo? *Rev Argent Cardiol* 2005;73:44-51.
13. Trainini JC, Elencwajg B, López Cabanillas N, Herreros J, Lago N, Lowenstein J, Trainini A. Stimuli propagation, muscle torsion and cardiac suction effect through electrophysiological research. En: Trainini JC, et al. "Basis of the New Cardiac Mechanisms. The Suction Pump", Buenos Aires: Lumen; 2015. p. 39-61.
14. Cosín Aguilar J, Hernández Martínez A, Tuzón Segarra MT, Agüero Ramón-Llin J, Torrent Guasp F. Estudio experimental de la llamada fase de relajación isovolumétrica del ventrículo izquierdo. *Rev Esp Cardiol* 2009;62:392-9. <http://doi.org/cnmdc>