

JORGE C. TRAININI SIMONETTI
JESÚS M^a. HERREROS GONZÁLEZ †
JAVIER CABO SALVADOR
(Editores)

Fisiología de la succión cardiaca

Colaboradores

Benjamín Elencwajg
Alejandro Trainini
Néstor López-Cabanillas
Jorge A. Lowenstein
Jesús Valle Cabezas
Mario Beraudo
Mario Wernicke



Madrid • Buenos Aires • México • Bogotá

©Jorge C. Trainini Simonetti, Jesús M^a Herreros González †, Javier Cabo Salvador (editores), 2019

Reservados todos los derechos.

«No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.»

Ediciones Díaz de Santos
Internet: <http://www.editdiazdesantos.com>
E-mail: ediciones@editdiazdesantos.com

ISBN: 978-84-9052-245-5
Depósito Legal: M-19290-2019

Fotocomposición y diseño de cubiertas: P55 Servicios Culturales

Printed in Spain - Impreso en España

Jorge Carlos Trainini Simonetti



Licenciado en Medicina por la Universidad de Nacional de La Plata, Argentina.

Doctor en Medicina por la Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Miembro de la Academia Nacional de Cirugía, Buenos Aires, Argentina.

Profesor Auxiliar de Cirugía, Universidad Buenos Aires.

Honorary Professor of the National University of Avellaneda. Buenos Aires, Argentina.

Profesor Honorario de la Universidad Abierta Interamericana.

Profesor Adjunto de Cirugía Cardiovascular de la Universidad del Salvador, Buenos Aires, Argentina.

Director del Laboratorio de Investigación Cardiológica, Universidad Nacional de Avellaneda, Buenos Aires, Argentina.

Director de la Cátedra de Complejidad en Medicina, UCAM, Murcia, España.

Fellow del American College of Surgeons, de la Sociedad Internacional de Heart and Lung Transplantation y de la Sociedad Francesa de Cirugía Cardiovascular.

Premio Internacional "Dr. Eduardo Palma" (American College of Surgeons).

Premio de la Academia Nacional de Medicina, 2000.

Premio Nacional Científico, 2000.

Premio Sociedad Española de Investigaciones Quirúrgicas, España, 2008.

Premio de la UNESCO, 1995 (Argentina).

Premio Trimalca, UNESCO, 1995 (París).

Premio ISALUD 2017 en el área de Investigación y Salud, 2017.

Director de la Revista Argentina de Cirugía Cardiovascular.

Director Asociado de la Revista Argentina de Cardiología.

Ciudadano Ilustre de Avellaneda, Argentina.

Ciudadano ilustre de Laboulaye, Córdoba, Argentina.

Ex Presidente de la Comisión de Investigación de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, 2007-2008.

Ex Director Ejecutivo del Hospital Presidente Perón.

Ex Jefe del Servicio de Cirugía Cardíaca, Hospital Presidente Perón, Buenos Aires, Argentina.

Jesús M^a. Herreros González †



Doctor en Medicina y Cirugía por la Universidad de Navarra.

Profesor Titular Universitario de Cirugía.

Catedrático de Cirugía Cardiovascular y Torácica. Universidad Católica San Antonio. Murcia.

European Board Thoracic and Cardiovascular Surgeons, Cardiovascular Surgery.

Jefe del Servicio de Cirugía Cardiovascular. Hospital Vithas Nisa Pardo de Aravaca. Madrid.

Profesor Asociado. Universidad de Sherbrooke. Canadá.

Profesor Honorario. Centro Integral de Capacitación Profesional Prof. Dr. Ricardo Finochietto. Ministerio de Salud. Buenos Aires. Argentina.

Doctor Honoris Causa. Universidad Paul Sabatier. Toulouse, Francia.

Doctor Honoris Causa. Ministerio de Salud. Buenos Aires, Argentina.

Presidente Sociedad Española de Investigaciones Quirúrgicas.

Vicepresidente European Society of Telemedicine. Société Européenne de Télé-médecine.

Vicepresidente Cardiac Bioassist Association.

Miembro del Consejo de Administración, European Institute of Telemedicine.

Institut Européen de Télé-médecine.

Director del Centro de Ingeniería Biomédica y Tecnologías Sanitarias.

Director de la Cátedra de Ingeniería Biomédica y Tecnologías Sanitarias. Universidad Católica San Antonio. Murcia.

Ex Director del Departamento de Cirugía Cardiovascular y Torácica de la Clínica Universitaria de Navarra, Pamplona.

Ex Jefe del Servicio de Cirugía Cardíaca. Hospital Universitario de Valladolid.

Ex Jefe del Servicio de Cirugía Cardiovascular. Hospital Universitario Marqués de Valdecilla. Santander. Cantabria.

Javier Cabo Salvador, MD, PhD



Doctor en Medicina y Cirugía Cardiovascular por la Universidad Autónoma de Madrid.

Fellowship en Cirugía Cardiotorácica por las Universidades de Harvard, Washington y Loma Linda (California) en USA.

Doctor Honoris Causa en Health's Science and Management por la Global Organization for Excellence in Health. Universidad de Tel Aviv (Israel).

Doctor Honoris Causa en Medicina y Cirugía por la Universidad Central del Este. República Dominicana.

Doctor Honoris Causa en Medicina e Investigación por la Universidad Católica Nordestana (UCNE). República Dominicana.

Título de funcionario de Carrera, escala A, del Cuerpo de Médicos Titulares del Estado. Ministerio de Sanidad y Consumo. Gobierno de España.

Director del Departamento Cardiovascular del Hospital Vithas Nisa Pardo de Aravaca. Madrid.

Director del Departamento Cardiovascular del Hospital Metropolitano HOMS. República Dominicana.

Director del Departamento de Ciencias de la Salud de la Universidad de Madrid UDIMA.

Ex Jefe Clínico de Cirugía Cardiovascular del Hospital Universitario La Paz, Madrid.

Catedrático de Ingeniería Biomédica de la Universidad Católica de Murcia (UCAM).

Catedrático de uHealth y Telemedicina de la Universidad Internacional de Andalucía (UNIA).

Catedrático de Investigación Biomédica de la Universidad Católica Nordestana (UCNE). República Dominicana.

Catedrático de Gestión Sanitaria de la Universidad de Madrid (UDIMA).

Profesor Colaborador y Asesor de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC).

Presidente del Consejo Científico del Observatorio de Nuevas Ciencias Sociales de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC).

Miembro del Consejo Asesor de Sanidad del Gobierno de España. XII Legislatura.

Miembro de la Comisión Nacional de la Especialidad en Cirugía Cardiovascular. Ministerio de Educación y Ciencia. Ministerio de Sanidad.

Miembro del Panel de Expertos de la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS) del Ministerio de Sanidad. Gobierno de España.

Miembro Internacional de BIONECA (Biomaterials and Advanced Physical Techniques for Regenerative Cardiology and Neurology).

Medalla de Oro de la Ciudad, 1980.

Miembro de Honor de la "International Who's Who Historical Society". USA. 2003.

Miembro de honor de la "Mediterranean Association of Cardiology and Cardiovascular Surgery.

Premio "Boehringer Ingelheim" de la Sociedad Española de Cardiología.

Premio de la Sección de Cardiología Pediátrica de la Sociedad Española de Cardiología.

Premio de Investigación del International Longevity & Cryopreservation Summit 2017.

Premio al Mejor Proyecto de Investigación Médico Científico del Hispanic American College de New York 2017.

Premio Madrigallego de Oro al mérito en Medicina. Año 2018.

COLABORADORES

Benjamín Elencwajg. *Cardiólogo, Electrofisiólogo. Hospital Presidente Perón, Buenos Aires, Argentina.*

Alejandro Trainini. *Cirujano Cardiovascular. Hospital Presidente Perón, Buenos Aires, Argentina.*

Jorge A. Lowenstein. *Cardiólogo, Ecocardiografista. Investigaciones Médicas, Buenos Aires, Argentina.*

Néstor López-Cabanillas. *Electrofisiólogo. Hospital Presidente Perón, Buenos Aires, Argentina.*

Jesús Valle Cabezas. *Doctor Ingeniero Naval. Director de Proyectos y Desarrollos. Director de Desarrollos de Hidrodinámica Numérica. INTA-Subdirección General de Sistemas Navales, Madrid, España.*

Mario Beraudo. *Cirujano Cardiovascular. Clínica Güemes, Lujan, Pcia de Buenos Aires, Argentina.*

Mario Wernicke. *Patólogo. Clínica Güemes, Lujan, Pcia de Buenos Aires, Argentina.*

PRÓLOGO I

El libro que nos ocupa supone una ampliación clara y rigurosa sobre el conocimiento electrofisiológico y el funcionamiento mecánico de este órgano vital. La investigación tanto anatómica como fisiológica en corazones humanos y bovinos llevada a cabo por los autores Javier Cabo, Jesús Herreros y Jorge Trainini, los tres cirujanos cardiovasculares de gran prestigio y reconocimiento internacional, deja como fruto una comprensión de la fisiología cardiaca basada en una visión integral que se inicia desde la filogenia y la estructura hasta llegar al análisis de la función.

Los aportes novedosos han sido indispensables para subrayar conceptos adicionales sobre la fisiología cardiaca, algunos con clara repercusión en la clínica y en el manejo terapéutico de la insuficiencia cardiaca.

Avanzar en el conocimiento del funcionamiento, estructura y “sentir” de este órgano siempre fue de interés a lo largo del tiempo, por lo que este excelente y riguroso texto es un paso que no será el último que nos deparará el futuro en el pleno conocimiento sobre el corazón.

Javier Castrodeza Sanz
Secretario de Sanidad y Consumo.
Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad.
Gobierno de España

PREFACIO

El ciclo del corazón humano tiene capacidades de succión, almacenamiento e impulsión del contenido sanguíneo. Las mismas, obtenidas a través de movimientos musculares consecutivos, representan los resultantes del desarrollo evolutivo que conforman una estructura intrínsecamente unida al funcionamiento. Asimismo, los ventrículos constituyen una estructura arquitectónica en red creciente que partiendo del miocito pasa por el sarcómero para conformar una banda muscular de disposición espacial en doble hélice, con la que constituirá el órgano cardíaco. Este necesitará de una irrigación sanguínea propia, de una matriz de colágeno y de un sistema de conducción para ejercer su función de eyección en relación, a una resistencia periférica durante la sistole y a una depresión (caída de la presión) durante las fases de succión y de diástole para producir el llenado ventricular.

La estructura determina la función. En el corazón los movimientos son consecuencia de una integridad cuyo objetivo final es conformar una bomba aspirante-impelente con la capacidad de impulsar unos 5 litros de sangre por minuto con un consumo de 10 vatios. Para cumplir con este propósito el corazón toma una disposición general en su conformación muscular con una característica helicoidal continua, constituyendo una anatomía análoga desde la observación macroscópica a la microscópica. Esta estructura está avalada por un proceso evolutivo desde el primitivo tubo circulatorio de los anélidos hasta las aves y mamíferos, incluyendo al humano.

En la evolución filogenética la propagación lineal de la estimulación del tubo vascular en los animales inferiores es similar a una peristalsis. La misma se convierte en los animales más evolucionados en un mecanismo con dos ondas de activación con el fin de lograr

la torsión-acortamiento ventricular y el movimiento subsiguiente de alargamiento-destorsión. La difusión longitudinal del estímulo en el desarrollo filogenético primario en sentido unidireccional depende de que sus cámaras cardiacas se encuentren simplemente en línea. Estos aspectos en la evolución del sistema cardiaco tienen un quiebre cuando los animales debieron adaptarse a la vía aérea. De este modo se convierte la estimulación lineal, en axial y radial simultáneamente, en su tránsito por los segmentos descendente y ascendente de la banda muscular ante la necesidad de una mecánica cardiaca diferente.

La situación evolutiva-anatómica del corazón tiene correspondencia con la mecánica ventricular. A pesar de trabajos pioneros y fundamentales realizados a partir de mediados del siglo XIX, adoleció de la comprensión de una propagación eléctrica que pudiese explicar con certeza la fisiología. De hecho, la torsión ventricular, clave en la fisiología ventricular propuesta por diferentes estudios, no pudo clarificarse en su mecánica con exactitud. Los últimos estudios emprendidos en este tópico completan la integridad de la estructura-función cardiaca necesaria y refrenda el paralelismo necesario con las evoluciones de la biología, la anatomía y la mecánica.

La investigación fisiológica en corazones humanos llevada a cabo por los autores de este texto deja por fruto una comprensión de la fisiología cardiaca basada en una visión integral que se inicia desde la filogenia y la estructura para llegar al análisis de la función. Los aportes novedosos han sido indispensables para modificar conceptos que no explicaban la real fisiología que se produce en el corazón. Como acontece con el conocimiento, este es un paso que nunca llega a ser el final. Tan solo una etapa más a la espera del futuro.

Los autores

ÍNDICE

Auspicios	VII
Agradecimientos	IX
Autores	XI
Colaboradores	XV
Prólogo I	XVII
Prólogo II	XIX
Prefacio	XXI

Capítulo 1.

ANATOMÍA DEL MIOCARDIO. DESARROLLO FILOGENÉTICO DEL SISTEMA CIRCULATORIO

1. Consideraciones previas	1
2. Arquitectura del miocardio	6
3. Anatomía de la banda cardiaca. Disección	12
4. Interpretación del origen y fin de la banda muscular cardiaca. El fulcro cardiaco	23
5. El ápex cardiaco	31
6. Conclusiones	33
7. Filogenia	33

Capítulo 2.

INVESTIGACIÓN SOBRE LA PROPAGACIÓN ELÉCTRICA DEL CORAZÓN

1. Conceptos históricos acerca de la activación eléctrica del miocardio	39
2. Activación eléctrica cardiaca	42

Capítulo 3.**EL CORAZÓN DE TRES TIEMPOS. LA BOMBA DE SUCCIÓN**

1. Cronología de las ideas del mecanismo de succión.....	57
2. Succión activa en la fase isovolumétrica diastólica	59
3. Interpretación de la fase activa de succión.....	60
4. Investigación en succión ventricular izquierda	65
5. Correlación electrocardiográfica.....	74

Capítulo 4**MECÁNICA CARDIACA**

1. Consideraciones previas	79
2. ¿Cómo se produce la succión diastólica?	88
3. Volumen residual sistólico	91
4. Consideraciones funcionales de la banda muscular cardiaca.....	92
5. Bases estructurales de la contención diastólica del ventrículo izquierdo en el mecanismo de succión.....	95
6. Conceptos ecocardiográficos	100
7. La bomba de succión en la resincronización cardiaca.....	111
8. Modelización cardiaca.....	116

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
---	------------

ANATOMÍA DEL MIOCARDIO. DESARROLLO FILOGENÉTICO DEL SISTEMA CIRCULATORIO

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 la describió con una superficie externa y otra interna, delimitando una masa muscular uniforme. Esta concepción estructural no justifica la mecánica cardiaca, 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⁽²²⁾. En 1980 Francisco Torrent Guasp⁽⁸⁵⁾ define la anatomía del corazón adaptada a la realidad fisiológica. Esta situación de estudio tiene correlación con una máquina orgánica, como es la cardiaca, que presenta características notables, como ser una bomba aspirante-impelente de un tamaño equivalente a un puño humano y un peso promedio de 270 gramos; que impulsa de 4-6 litros/minuto a una velocidad de 300 cm/s; tener un consumo de solo 10 vatios; trabajar sin interrupción durante 80 años sin mantenimiento, casi sin ruido, sin humo. Su tarea es equivalente a extraer desde 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 asemejando una cuerda (modelo de la cuerda) (Figuras 1.1 a 1.3), 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⁽⁸⁶⁻⁸⁸⁾. Esta estructura se halla avalada por el proceso evolutivo que sucede desde el primitivo 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.

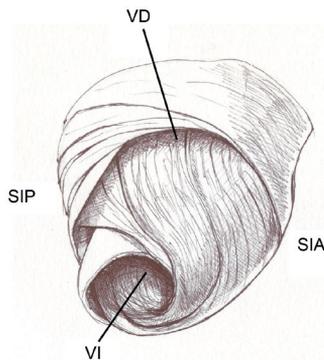


Figura 1.1. Banda muscular de Torrent Guasp. **VD:** ventrículo derecho; **VI:** ventrículo izquierdo; **SIP:** surco interventricular posterior; **SIA:** surco interventricular anterior.

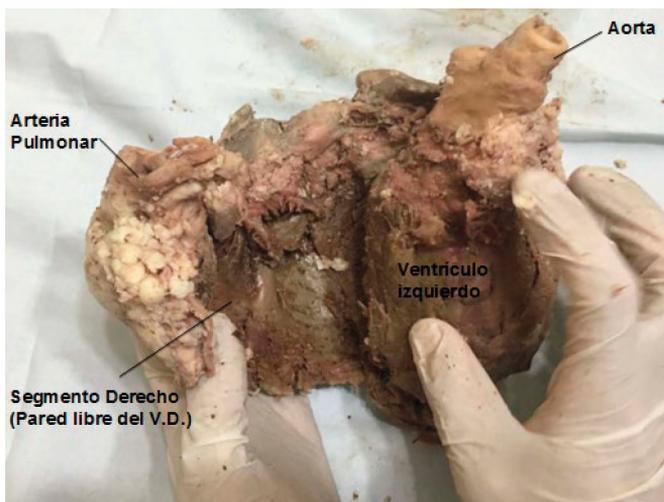


Figura 1.2. Banda muscular de Torrent Guasp.

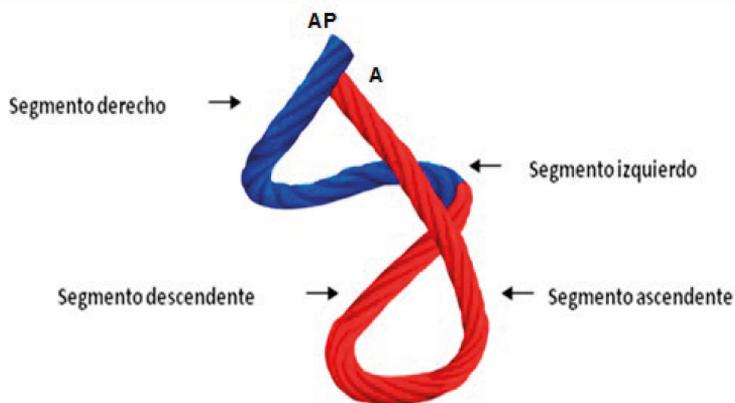


Figura 1.3. Banda muscular en el modelo de la cuerda. Se muestran los diferentes segmentos que la componen. En azul: lazada basal. En rojo: lazada apexiana. **AP:** Arteria pulmonar; **A:** Aorta.

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 manual necesaria para objetivarla– podemos obtener la confirmación de ella a través de: 1) la disección del corazón; 2) del concepto evolutivo que surge desde la filogenia; 3) de los

nuevos procedimientos de imágenes obtenidas con Resonancia Magnética por tensor de difusión^(16,23,70,118); 4) de la ecocardiografía⁽⁶²⁾; 5) de los recientes estudios electrofisiológicos llevados a cabo con el mapeo electroanatómico tridimensional⁽¹⁰⁴⁻¹⁰⁸⁾.

En relación a la dificultad esgrimida en la disección del miocardio, la cual es más aparente que real, 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 anatómica.

Andrés Vesalio en su obra *De Humanis Corporis Fabrica* (año 1543), se refería a la dificultad en discernir las capas que componen el miocardio. Decía textualmente. “Sea cual fuese la manera en que realices la disección de la carne del corazón, tanto si está cruda como cocida..., a duras penas puedes arrancar una porción de un solo tipo de fibra, porque tienen direcciones múltiples y distintas, sobre todo transversales”. A esta situación se refería también Pettigrew (año 1864): “De la complejidad de la disposición no necesito hablar más que Vesalius, Haller y De Blainville, todos confesaron su incapacidad para descifrarla”⁽⁹⁸⁾.

Una explicación para esta homogeneización muscular 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⁽¹⁰⁷⁾.

No pueden considerarse a las fibras musculares que conforman el miocardio como entidades independientes dentro de un determinado espacio. A pesar de lo intrincado que puedan ser los manojos de fibras con apariencias poligonales, que además reciben y originan fibras colaterales, se halla definido un trayecto predominante de las fibras cen-

trales con planos de deslizamiento las cuales conforman en conjunto la banda muscular miocárdica. No se debe olvidar que el miocardio constituye un continuo en sus fibras en espiral 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 cardiaca. El abanico de fibras que se conforma reduce el estrés entre ellas.

Esta situación que simula una maraña de fibras le permite a la banda actuar como una cadena continua de transmisión al tomar las fibras epicárdicas una dirección oblicua, las intermedias un sentido transversal y las endocárdicas también oblicua, pero de dirección contraria a las del plano epicárdico. El ángulo de ingreso del plano endocárdico y epicárdico en relación a las transversales es de unos 60 grados. La orientación de las fibras determinan la función y así, la fracción de eyección es del 60% cuando las fibras helicoidales normales se contraen y cae al 30% si se acortan solamente las fibras transversas. Esto último sucede al dilatarse el ventrículo izquierdo y perder las fibras su orientación oblicua con pérdida de la eficiencia muscular y mecánica.

De esta forma debe comprenderse que desde las fibras superficiales hacia las profundas se genera un cambio de orientación gradual. A medida que se progresa de la base al ápex ventricular la cantidad de fibras horizontales disminuyen en relación a las oblicuas demostrando que el corazón se halla organizado en una espiral muscular continua. La actividad mecánica ventricular debe ser heterogénea durante la diástole, con gradiente de relajación subendocárdico-subepicárdico. Sucede esta situación para la sístole donde las capas musculares de la banda en la base muestran una torsión más pronunciada en el subendocardio que en el subepicardio, mientras que en el ápex la rotación de las fibras subepicárdicas adquiere mayor importancia.

Más allá de esta complejidad, se debe establecer el concepto de trayectorias lineales y laminares. Haces y bandas musculares miocár-

dicas 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; b) cumplir la acción de succión e impulsión en su carácter de bomba cardiaca.

Arquitectura del miocardio

Ventrículo izquierdo. En relación al ventrículo izquierdo, el ápex pertenece íntegro al mismo. En la parte distal de este ventrículo, denominada apexiana, se encuentra una capa muscular de trayecto espiral que se desplaza desde la periferia hacia el centro, la cual sufre una torsión que hace que las fibras subepicárdicas se vuelvan subendocárdicas, superpuestas como las tejas en un techo. De esta forma el extremo distal del ventrículo izquierdo, el ápex, contornea un conducto de carácter virtual que no posee plano muscular en su extremo final, hallándose tapizado por el endocardio y el epicardio, sin músculo intermedio. Lo fundamental a considerar es que en la zona apexiana las fibras sufren un movimiento en remolino helicoidal, con disposición esfinteriana al convertirse de subepicárdicas en subendocárdicas. La orientación de su trayecto corresponde al sentido de las agujas de reloj (corazón en posición anatómica, sobre su cara diafragmática, visto por el ápex) (Figuras 1.4 y 1.5)⁽⁸⁸⁾.

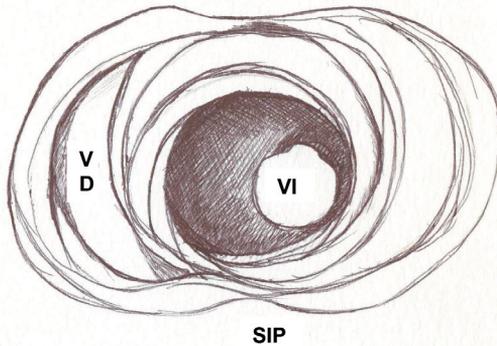


Figura 1.4. Ventrículos derecho e izquierdo vistos por el ápex. **VD:** ventrículo derecho; **VI:** Ventrículo izquierdo; **SIP:** surco interventricular posterior.

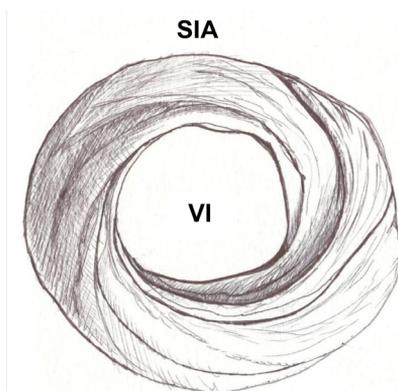


Figura 1.5. Capas musculares en espiral en el ápex. **SIA:** ubicación del surco inter-ventricular anterior; **VI:** Ventrículo izquierdo.

En la mitad *basal* del ventrículo izquierdo (Figura 1.6), a nivel de su pared libre, el ordenamiento de las fibras es similar a lo mencionado en la mitad apexiana. Se observa una capa muscular de trayectoria espiral que avanza de la periferia al centro y cuyas fibras se van posicionando desde afuera hacia adentro (de regiones paraepicárdicas a paraendocárdicas). A este nivel la orientación que toman es opuesta al ápex. Siguen un trayecto en sentido inverso a las agujas de reloj (corazón en posición anatómica, sobre su cara diafragmática, visto por el ápex). Esta disposición de la capa muscular en su giro delimita una cavidad que en la base del ventrículo es real y no virtual como sucede en el ápex.

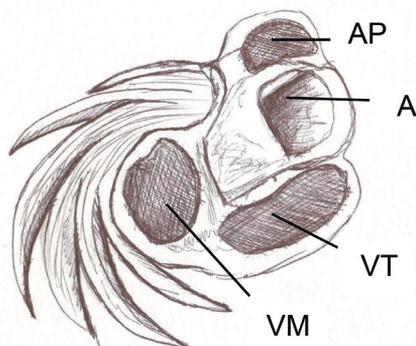


Figura 1.6. Tercio basal del ventrículo izquierdo. Se observan las capas musculares de la pared libre. **AP:** arteria pulmonar; **A:** Aorta; **VT:** válvula tricúspide; **VM:** válvula mitral.

Debe considerarse el ápex como un túnel con borde muscular en todo su anillo, mientras que en la base ventricular este anillo tiene dos partes. Una corresponde a la pared libre del ventrículo izquierdo y la otra al septum interventricular. Por otra parte, las fibras más superficiales de la base tienen contacto con un anillo fibroso (mitral) ausente a nivel del ápex. De todas maneras, la diferencia fundamental a nivel funcional entre ambas regiones, basal y apexiana, es el desplazamiento opuesto que tienen sus fibras. Esta particularidad permite un trabajo de torsión muscular para lograr la expulsión sanguínea desde el corazón y la destorsión para provocar la succión y el llenado ventricular.

Ventrículo derecho. Se pueden distinguir en su mitad *distal* en forma conceptual dos tipos de fibras de acuerdo, a la orientación. Unas son paraendocárdicas y las otras paraepicárdicas. Las primeras desde la raíz pulmonar van hacia atrás y abajo a la región de la punta, mientras que las otras se desplazan desde el surco interventricular anterior hacia atrás acercándose a la base cardíaca. Esta disposición cruzada en equis permite ver en la parte distal del ventrículo derecho que las fibras toman una disposición helicoidal, transformándose de este modo de subepicárdicas en subendocárdicas (Figura 1.7).

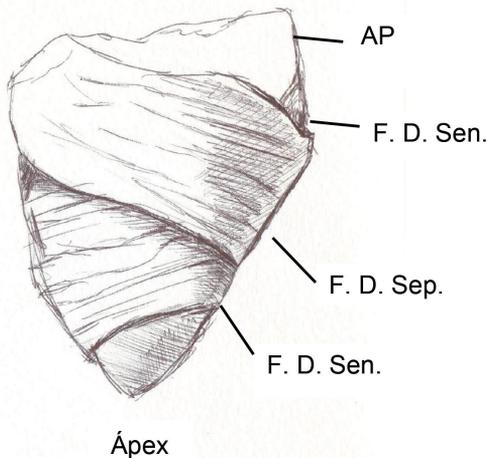


Figura 1.7. Pared libre del ventrículo derecho. **AP:** arteria pulmonar; **F. D. Sen.:** Fascículo derecho subendocárdico; **F. D. Sep.:** Fascículo derecho subepicárdico.

En la mitad *basal* del ventrículo derecho (perímetro orificial tricuspídeo) podemos distinguir tres segmentos: pared libre, la crista supra-ventricular y el tabique interventricular. En la pared libre se repite el esquema general de las fibras que en sentido espiral van desde posiciones subepicárdicas a subendocárdicas. Del mismo modo como sucede en el ventrículo izquierdo hay diferencia de sentido de giro entre las fibras de la zona basal en relación a la parte distal. Las mismas siguen una trayectoria opuesta a las agujas del reloj en la parte basal y a favor de la dirección de las agujas del reloj en la parte distal (corazón en posición anatómica, sobre su cara diafragmática, visto por el ápex).

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 pulmo-tricuspídeo, 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 el mismo las dos cámaras ventriculares. La banda miocárdica se halla constituida 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 (Figura 1.3).

La figura en forma de ocho determinada por este recorrido permite distinguir dos lazadas denominadas basal y apexiana. 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 (Figura 1.3). En la disposición integral de las lazadas la basal abraza a la apexiana, lo cual determina que la cavidad ventricular derecha se presenta como una hendidura abierta en el espesor de la masa muscular que conforma a ambos ventrículos (Figura 1.1). En relación, a 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 el doblez de la banda hasta el ápex. Desde ahí, toma la denominación de segmento ascendente para finalizar en la raíz de la aorta. Estos segmentos constituyen mayoritariamente el tabique interventricular. Ambos se hallan separados por el músculo papilar anterior. Igual 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 cardiaca 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 al 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 tricuspídeo y el mitro-aórtico. Estos haces musculares fueron denominados por Torrent Guasp “fibras aberrantes” (Figura 1.8). Incluso dejaba señalado: “Por su disposición en el espacio recubren a la lazada basal en toda su extensión, envolviendo por tanto a ambos ventrículos”⁽⁸⁸⁾. 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 de la que siempre ha sido atribuida”⁽⁸⁸⁾.

Se consideró la posibilidad de que la transmisión del impulso radial entre los segmentos descendente y ascendente fuese a través de las fibras interbandeletas o aberrantes. En este sentido, a la luz de lo hallado por nosotros en relación al recorrido de los estímulos cardiacos y la activación simultánea y contrapuesta de los segmentos descendente y ascendente, consideramos que responsables de esta transferencia del estímulo serían las fibras subendocárdicas del segmento descendente en la cara anterior del ventrículo izquierdo, quienes transcurren en profundidad por el mesocardio, cruzándose perpendicularmente con las del segmento ascendente (Capítulo 2).

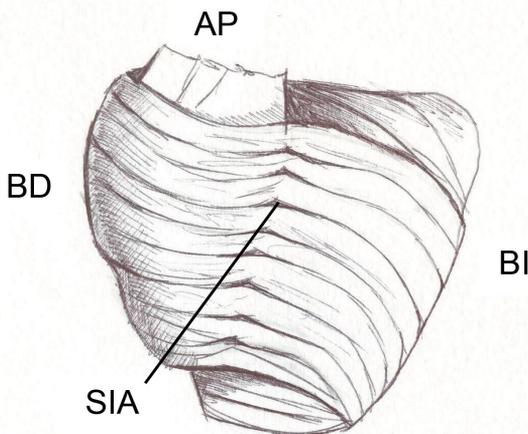


Figura 1.8. Fibras interbandeletas. **AP:** arteria pulmonar; **BD:** borde derecho; **BI:** borde izquierdo; **SIA:** surco interventricular anterior.

Anatomía de la banda cardiaca. Disección

El corazón que se va a disecar (el de bovino es un buen modelo) se debe someter a ebullición en agua a la que es conveniente agregar ácido acético (15 cc por litro). El tiempo de ebullición es de unas dos horas y media, salvo que se utilice un recipiente a presión, con lo cual se reduce a 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 atestigüa 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)^(88,105) 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. Entre las aurículas y los ventrículos hay simplemente en su pared tejido conjuntivo, lo que permite separar sencillamente dichas cámaras, dada la desnaturalización que establece el calor.

La maniobra clave para lograr el desenrollamiento 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 posicionarse 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 diseca 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 las Figuras 1.9 y 1.10 se puede observar la secuencia del desenrollamiento del miocardio hasta quedar transformado en una banda muscular. En la Figura 1.11 un esquema detalla los distintos segmentos que la constituyen, así como las inserciones de la arteria pulmonar en el cordón pulmo-tricuspidé y de la aorta en los trígonos derecho e izquierdo, extremos que componen respectivamente el inicio y el fin de la banda, muy próximos entre sí en el corazón intacto.



Figura 1.9. Desenrollamiento de la banda muscular.



Figura 1.10. Banda desenrollada en toda su extensión (corazón de bóvido).

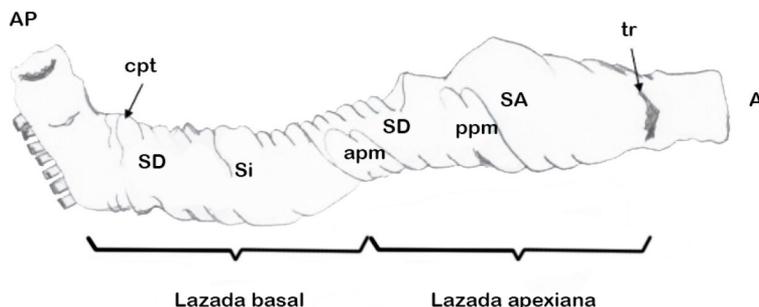


Figura 1.11. Esquema aclaratorio de los segmentos de la banda muscular. **A:** aorta; **AP:** arteria pulmonar; **SD:** segmento derecho; **Si:** segmento izquierdo; **SD:** segmento descendente; **SA:** segmento ascendente; **cpt:** cordón pulmo-tricuspídeo; **tr:** trígono; **apm:** músculo papilar anterior; **ppm:** músculo papilar posterior.

La **pared libre del ventrículo derecho** se halla constituida por dos contingentes de fibras musculares (Figura 1.12) 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, al plano espiral del miocardio en su integridad funcional.

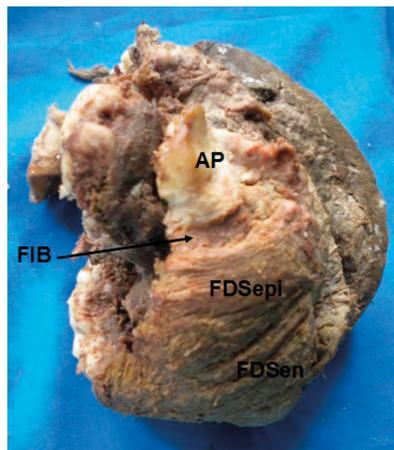


Figura 1.12. AP: Arteria pulmonar; **FDSepl**: Fascículo derecho subepicárdico; **FDSen**: Fascículo derecho subendocárdico; **FIB**: Fibras interbandeletas.

El fascículo derecho subepicárdico de orientación transversal, que 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 pulmo-tricuspídeo. La otra, dorsal, denominada banda septal posterior termina en el borde del orificio tricuspídeo y en la pared libre del ventrículo derecho. Entre ambas, en sus inserciones terminales, queda delimitado un pequeño triángulo de base superior tricuspídeo que constituye el septo membranoso (Figura 1.13).

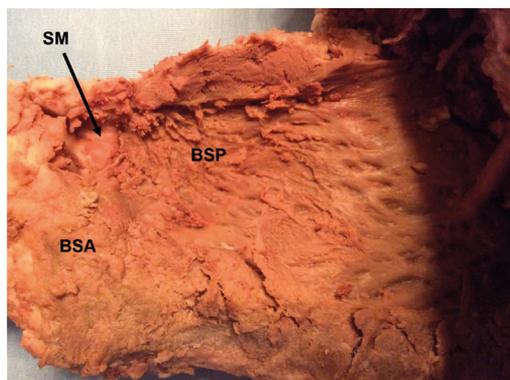


Figura 1.13. BSA: banda septal anterior; **BSP**: banda septal posterior; **SM**: septo membranoso.

Si se reseca el fascículo derecho subepicárdico (Figura 1.14) 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); b) la banda del tabique (también llamada del puente) (Figura 1.15). Esta última termina en el tabique interventricular constituyendo además un rafe, el cordón pulmo-tricuspídeo, en un trayecto ubicado entre la arteria pulmonar y la válvula tricúspide.

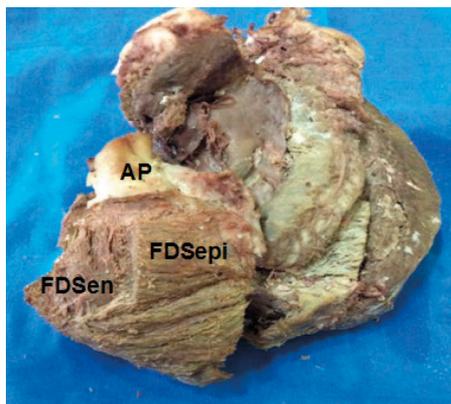


Figura 1.14. AP: Arteria pulmonar; FDSepli: Fascículo derecho subepicárdico; FDSen: Fascículo derecho subendocárdico.

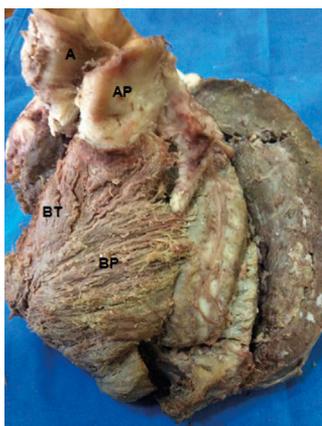


Figura 1.15. A: aorta; AP: arteria pulmonar; BT: banda del tabique; BP: banda de la pulmonar.

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 origina en la raíz de la arteria pulmonar, en el cordón pulmo-tricus-pídeo 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 grupos de fibras (Figura 1.16) constituidos por haces musculares en sentido ascendente (pertenecientes al segmento ascendente). Un contingente 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 a la aorta por debajo del nacimiento de la arteria coronaria derecha (trígono derecho), cursando por debajo de un grupo de fibras llamadas transversales. En el corazón del bovino hemos encontrado que estas fibras se insertan en el *fulcro cardiaco*, núcleo osteo-cartilaginoso (Figuras 1.24 a 1.30), el cual actuaría de punto de apoyo del segmento ascendente para conseguir la fuerza muscular necesaria para cumplir con su función de eyección y succión. Este fascículo toma la denominación de banda del trígono derecho. Si se separa el ventrículo derecho del izquierdo las fibras que alcanzan el trígono derecho se evidencian con mayor claridad (Figura 1.17).

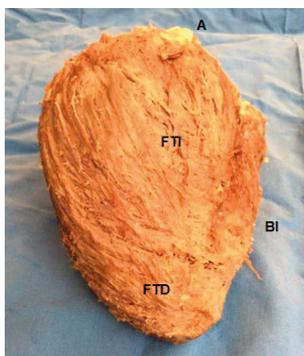


Figura 1.16. A: aorta; BI: borde izquierdo del ventrículo izquierdo; FTI: fibras del trígono derecho; FTI: fibras del trígono izquierdo.

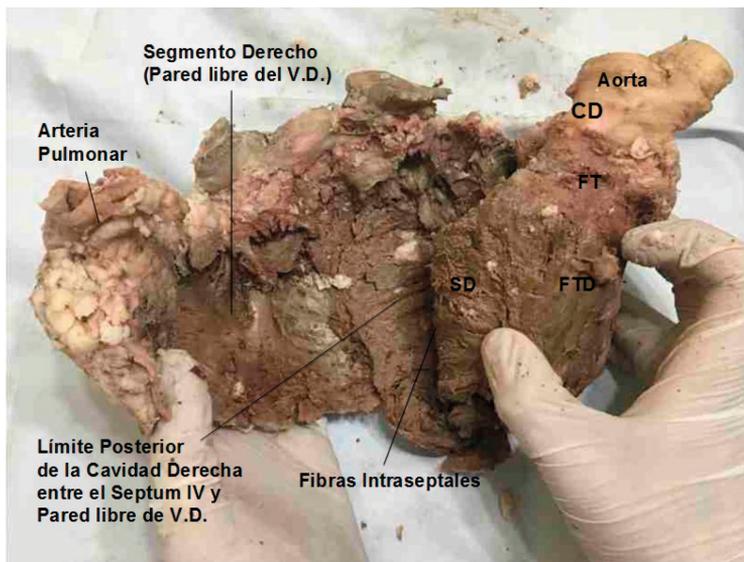


Figura 1.17. El ventrículo derecho (V.D.) ha sido separado del izquierdo a lo largo del surco interventricular anterior. Esta maniobra permite evidenciar las fibras del trígono derecho (FTD) que se insertan por debajo del nacimiento de la coronaria derecha (CD). Estas fibras se insertan en la aorta pasando por debajo de las fibras transversales (FT). SD: Segmento descendente.

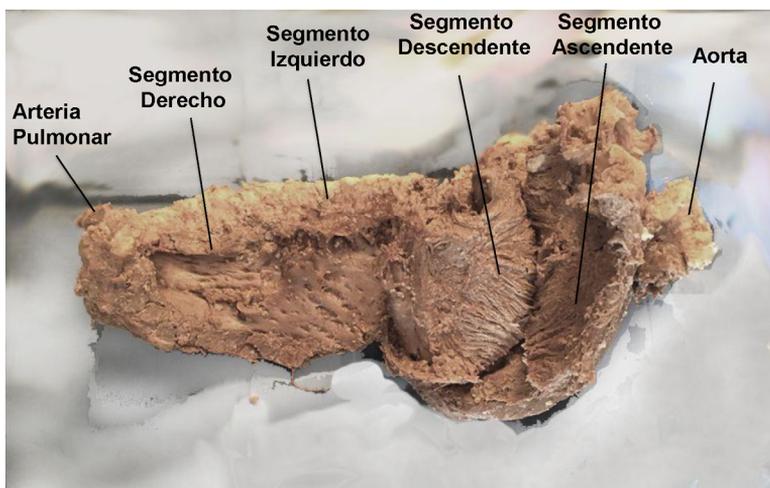


Figura 1.18. Fibras de los segmentos descendente y ascendente. Se puede observar como las fibras se van espiralando de acuerdo a la estructura helicoidal.