

# Investigación anatómica del ápex cardíaco

## *Anatomical investigation of the cardiac apex*

JORGE TRAININI<sup>1, MTSAC</sup>, MARIO BERAUDO<sup>2</sup>, MARIO WERNICKE<sup>3</sup>, FRANCESC CARRERAS COSTA<sup>4</sup>, ALEJANDRO TRAININI<sup>5</sup>, VICENTE MORA LLABATA<sup>6</sup>, DIEGO LOWENSTEIN HABER<sup>7, MTSAC</sup>, MARÍA ELENA BASTARRICA<sup>8</sup>, JORGE LOWENSTEIN<sup>9, MTSAC</sup>

### RESUMEN

**Objetivo:** Comprender la anatomía cardíaca es la clave para resolver incógnitas sobre su función. La estructura miocárdica continua y helicoidal desempeña un papel fundamental en los movimientos de torsión-detorsión. El ápex, parte constitutiva del ventrículo, ¿tiene relevancia en la dinámica cardíaca o es simplemente un fondo de saco? El objetivo del presente trabajo fue responder este interrogante.

**Material y métodos:** Se utilizaron para los estudios anatómo-histológicos cuatro corazones de bovinos jóvenes y cuatro corazones humanos (dos embriones y dos adultos). Para esta investigación se realizaron dos procedimientos: a) desplegamiento del miocardio continuo para observar la disposición de las fibras en la punta del ventrículo izquierdo, denominada zona apexiana; b) cortes horizontales y longitudinales para estudiar la estructura del ápex. Los primeros se realizaron entre los 2/3 medio y apexiano, y los longitudinales seccionando la punta ventricular izquierda con una orientación ápex-base.

**Resultados:** Hemos encontrado en todos los corazones humanos y bovinos estudiados que el ápex corresponde únicamente al ventrículo izquierdo, en donde se ubica el giro del segmento descendente en la continuidad ascendente del miocardio continuo. El fondo de saco apexiano no posee prácticamente plano muscular en su extremo final. Está tapizado por dentro por el endocardio y por fuera por el epicardio. El plano muscular es apenas un 10% en espesor del miocardio contiguo. La transiluminación reafirma este concepto estructural.

**Conclusiones:** El ápex es un fondo de saco prácticamente sin músculo, en el que el endocardio y el epicardio se hallan adosados, pero que cumple funciones del soporte de las presiones intraventriculares y es parte constitutiva de los movimientos de torsión y detorsión.

**Palabras clave:** Corazón/anatomía & histología - Miocardio - Ventriculos cardiacos - Función ventricular

### ABSTRACT

**Objective:** Understanding cardiac anatomy is the key to solve unknown issues about its function. The continuous and helical myocardial structure plays a fundamental role in its torsion-detorsion motions. Does the apex, a constitutive part of the ventricle, have relevance in cardiac dynamics or is it simply a *cul-de-sac*? The aim of this study was to answer this question.

**Methods:** Four young bovine and four human hearts (two embryos and two adults) were used for the anatomico-histological studies. Two procedures were carried out for this investigation: a) the continuous myocardium unfolding to observe the fiber arrangement at the tip of the left ventricle, called the apical zone; and b) horizontal and longitudinal sections to study the structure of the apex. The horizontal sections were performed between the middle 2/3 and the apex, and the longitudinal ones, sectioning left ventricular apex, with an apex-base orientation.

**Results:** In all the human and bovine hearts studied we found that the apex corresponds only to the left ventricle, where the twist of the descending segment is located, in the ascending continuity of the myocardium. The apical *cul-de-sac* has practically no muscular plane at its end. It is internally lined by the endocardium and externally by the epicardium. The muscular plane has only 10% thickness of the adjacent myocardium, a structural concept confirmed by transillumination.

**Conclusions:** The apex is a *cul-de-sac* practically devoid of muscle, in which the endocardium and epicardium are attached, but which performs the functions of supporting intraventricular pressures and being a constitutive part of the torsion and detorsion motions.

**Key words:** Anatomy and histology - Myocardium - Heart Ventricles - Ventricular Function

Rev Argent Cardiol 2022;90:125-130. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v90.i2.20498>

Recibido: 05/12/2021 - Aceptado: 16/02/2022

**Dirección para correspondencia:** Jorge Carlos Trainini MD, PhD. Hospital Presidente Perón, Avellaneda, Provincia de Buenos Aires, Argentina  
Telephone + 5411 15 40817028 - E-mail: jctrainini@hotmail.com

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

<sup>2</sup> Departamento de Cirugía Cardíaca, Clínica Güemes, Luján, Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup> Departamento de Patología, Clínica Güemes, Luján, Buenos Aires, Argentina.

<sup>4</sup> Departamento de Cardiología, Hospital Sant Pau, Barcelona, España.

<sup>5</sup> Servicio de Cirugía Cardíaca, Hospital Presidente Perón, Buenos Aires, Argentina.

<sup>6</sup> Department of Cardiology, Hospital "Dr Peset", Valencia, España

<sup>7</sup> Servicio de tomografía y resonancia cardíaca de Centro Médico Deragopyan.

<sup>8</sup> Cardióloga universitaria.

<sup>9</sup> Departamento de Cardiología, Investigaciones Médicas, Buenos Aires, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

A la luz de las investigaciones actuales (estudios anatómicos, histología, ecocardiografía, resonancia cardíaca, electrofisiología), la concepción estructural clásica del corazón no justifica la mecánica que posee. Por lo tanto, es imprescindible poder vislumbrar su verdadera anatomía interna, entendiendo que la comprensión de la estructura lleva a entender la función. (1-6)

Las investigaciones realizadas en los últimos años permiten definir al miocardio como un músculo único que en su continuidad longitudinal adopta una conformación espacial espiralada, insertado en sus extremos (origen y fin) en un núcleo osteo-condroide-tendinoso de acuerdo a los especímenes analizados, denominado fulcro cardíaco. (7,8) De esta manera delimita las dos cavidades ventriculares, la izquierda de geometría elipsoide, y la derecha de conformación semilunar. El modelo de la cuerda de Torrent Guasp ejemplifica esta disposición espacial (Figura 1). (9,10)

Dentro de esta estructura el ápex presenta características diferentes a lo establecido en el proceso histórico. Clásicamente se lo consideró un fondo de saco de naturaleza muscular en continuidad con un miocardio considerado absolutamente homogéneo. Esta interpretación no se correlaciona con el concepto actual de la estructura del miocardio, continuo, longitudinal y de disposición espacial en helicoidal, el cual, al girar a nivel del ápex, por la geometría en espiral que adopta, debe carecer prácticamente de músculo en dicho punto.

Ante lo expuesto, hemos investigado la estructura anátomo-histológica de la zona del miocardio denominada apexiana, con el fin de describir su realidad estructural, correlacionándola además con algunos parámetros de su función ya investigados y publicados. (6-11)

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizaron para realizar los estudios anátomo-histológicos ocho corazones, cuatro corazones de bovinos jóvenes (800-1000 g) y cuatro corazones humanos (dos embriones de 16 y 23 semanas de gestación y dos adultos con un peso promedio de 300 g). Los corazones fueron provenientes de morgue y matarifes. Para esta investigación se realizaron dos procedimientos:

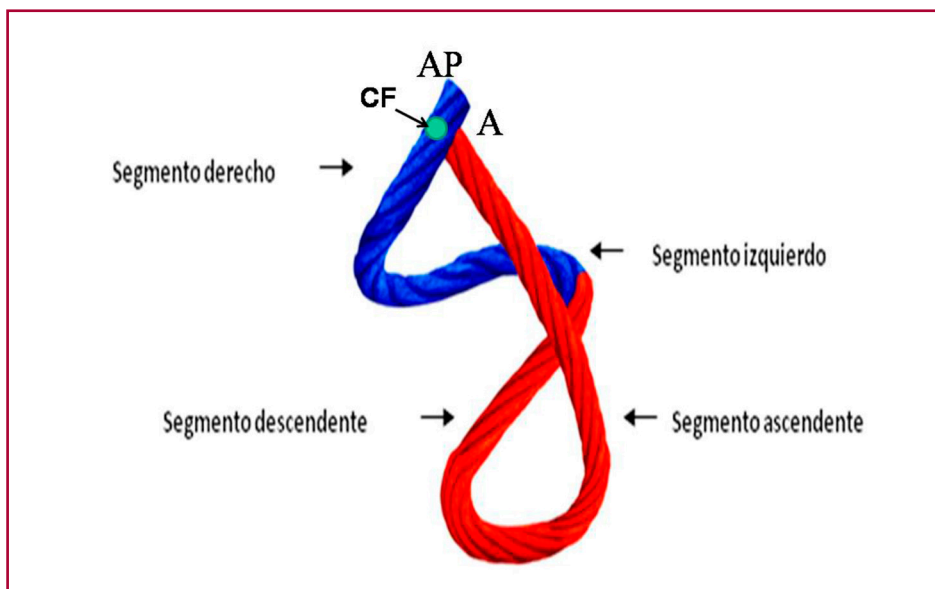
a) desplegamiento del miocardio continuo para observar la disposición de las fibras en la punta del ventrículo izquierdo, denominada zona apexiana; b) realización de cortes horizontales y longitudinales para observar la disposición del ápex. Los primeros se realizaron entre los 2/3 medio y apexiano y los longitudinales seccionando la punta ventricular izquierda con una orientación ápex-base (Figura 2).

La preparación previa del corazón para conseguir el desplegamiento del miocardio continuo ya fue explicada en publicaciones anteriores por estos mismos autores. (8)

## RESULTADOS

El ápex –conformado únicamente por el ventrículo izquierdo– es una zona ubicada en el giro del segmento descendente al transformarse en segmento ascendente, en la continuidad del miocardio (Figura 1). En este desplazamiento helicoidal de sus fibras, que de subepicárdicas se transforman en subendocárdicas (Figura 3), 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.

A este nivel, el ápex presenta un adelgazamiento del 90% en relación al miocardio contiguo. Este brusco cambio de dirección permite que la continuidad del segmento descendente se transforme en ascendente y representa la cabal prueba del carácter helicoidal del



**Fig. 1.** Miocardio continuo y helicoidal en el modelo de la cuerda. Se detallan los diferentes segmentos que la componen. En azul: lazada basal. En rojo: lazada apexiana. CF: fulcro cardíaco, donde se insertan las fibras al inicio y fin del miocardio continuo.

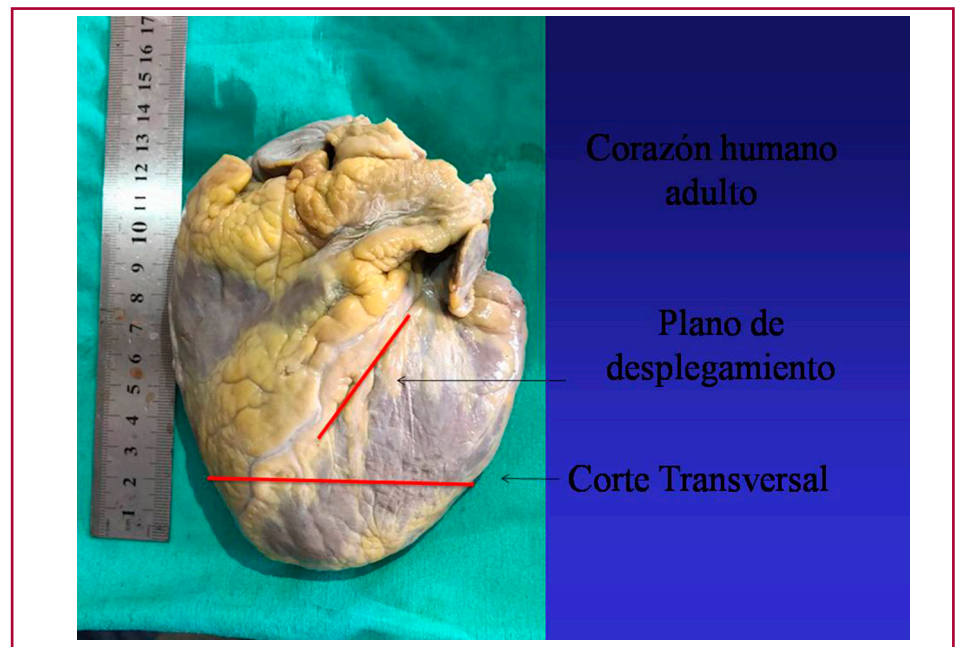
miocardio (Figura 4). En el ápex hay fibras remanentes del remolino muscular que se deslizan entre su borde circular. Es un delgado refuerzo. Lo hemos visto en el miocardio de los bovinos y de los humanos, en este caso tanto en el embrión como en el adulto. De esta manera, el fondo de saco apexiano no posee casi plano muscular en su extremo final, está tapizado por dentro por el endocardio y por fuera por el epicardio. A través de la transluminación puede comprobarse esta disposición anatómica (Figura 4). Los cortes transversales evidencian este giro espiralado de las fibras al acercarse

al ápex (Figura 3), mientras, que los longitudinales determinan que carece prácticamente de un plano muscular (Figura 4).

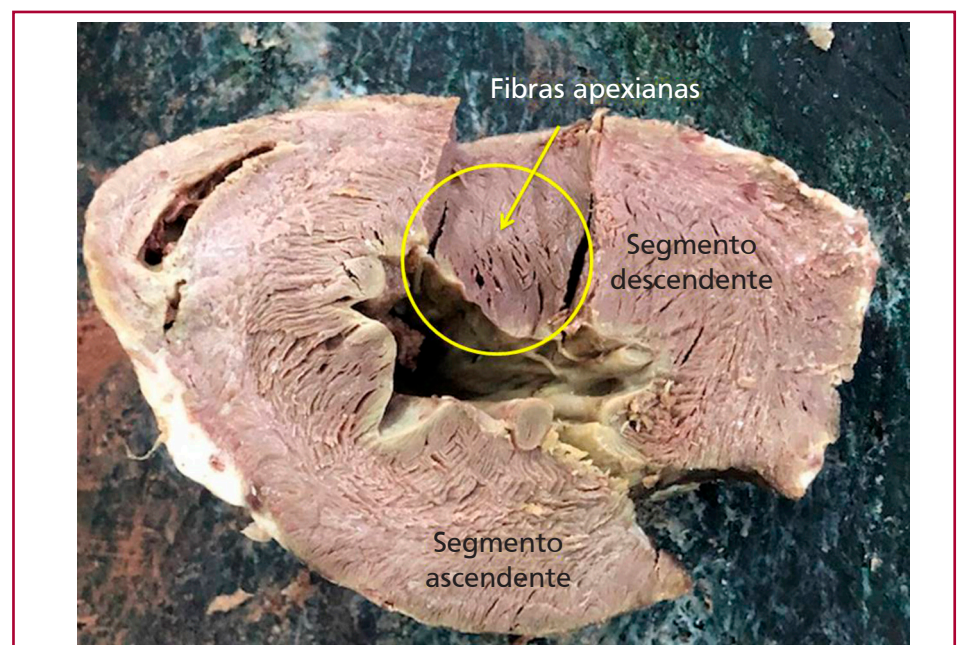
### DISCUSIÓN

Lo fundamental a considerar es que en la zona apexiana las fibras del miocardio continuo sufren un movimiento en remolino helicoidal, con disposición esfinteriana al convertirse de subepicárdicas en subendocárdicas, superpuestas como las tejas en un techo.

**Fig. 2.** Plano de desplegamiento y corte transversal realizadas en la investigación (corazón humano adulto).



**Fig. 3.** Fibras apexianas. Nótese el giro de las fibras al acercarse a la punta del ventrículo izquierdo.

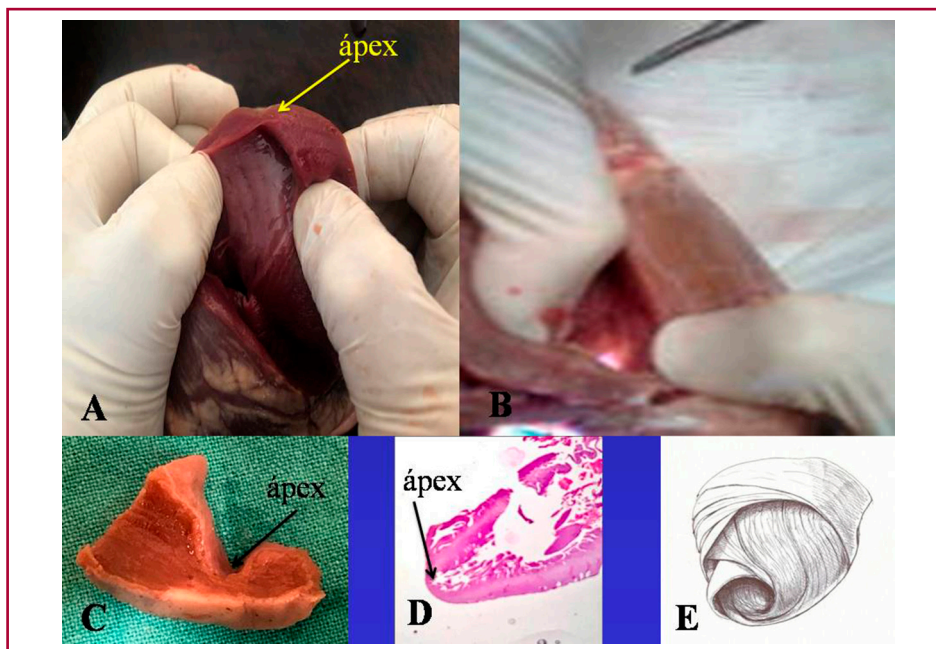


En la cara externa de la parte distal del segmento descendente, al girar a nivel del ápex y transformarse en ascendente, los cardiomiocitos muestran en los cortes planimétricos una arquitectura disímil a la cara interna en su orientación, único sitio de los segmentos del miocardio continuo, donde sucede esta situación (Figura 5). En el resto la disposición es siempre paralela. Esto se asemeja a la cinta de Moebius, dado el cambio progresivo de la angulación en las fibras que se transforman de epicárdicas en endocárdicas.

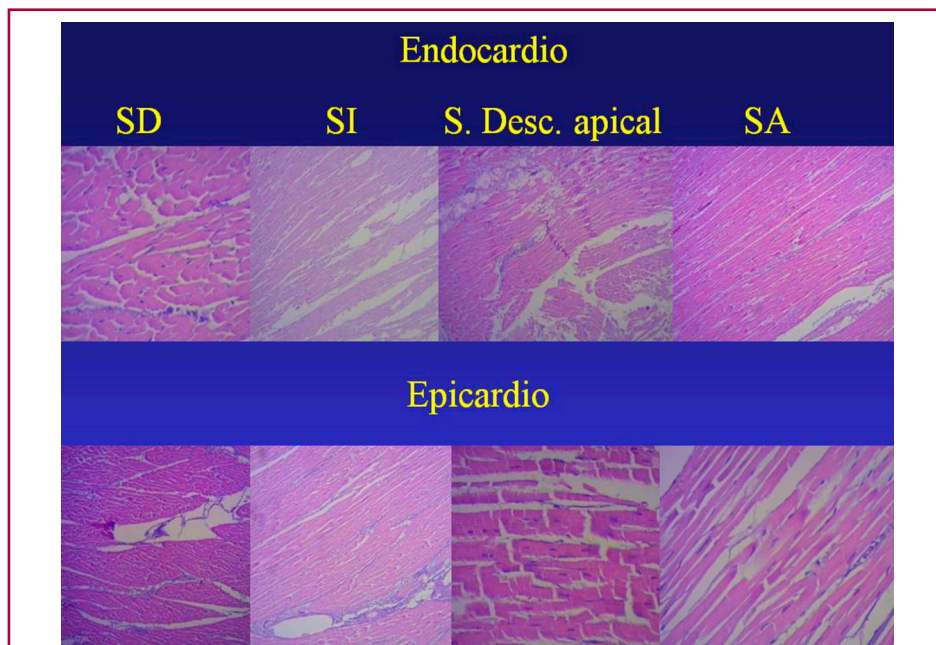
De los tres giros que realiza la bandeleta descendente en relación a la ascendente (Figura 1), situación

que se comprueba al desplegar el miocardio continuo y helicoidal, los dos primeros pasan por delante y detrás sucesivamente. El último paso vuelve a ser posterior. (6,11) En este juego de la base y el ápex, tras un breve lapso de rotación antihoraria, la misma pasa a ser contrapuesta entre ambos, ya que sigue antihoraria en el ápex, pero cambia a sentido horario en la base (corazón visto desde la base).

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 protodiastólica (succión) se alarga.



**Fig. 4. A:** se observa el ápex cardíaco. **B:** La transluminación positiva en el fondo de saco apexiano demuestra que prácticamente no hay fibras musculares en esta región. **C y D:** Detalle macro y microscópico del ápex que muestra el endocardio adosado al epicardio, casi sin capa muscular, la cual presenta un espesor del 10% en relación al miocardio contiguo. **E:** El dibujo del miocardio continuo plegado en hélix revela la naturaleza del ápex, el que queda conformado por una zona frágil dado el cambio de orientación del segmento descendente transformándose en ascendente. **A y B:** corazón de bovino. **C:** corazón humano adulto. **D:** embrión humano de 16 semanas.



**Fig. 5.** Secuencia segmentaria del análisis histológico del miocardio continuo. Técnica de Hematoxilina-eosina (15x). SD: segmento derecho; SI: segmento izquierdo; S. Desc. (ápex): segmento descendente (ápex); SA: segmento ascendente.

Expresión de este proceso anátomo-funcional es hallar una zona apexiana con la capacidad de facilitar la traslación de la base cardíaca a la punta en la sístole (acortamiento) y el alejamiento en la succión, logrando el alargamiento ventricular. 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. Este remanente actúa con la función de una “capa límite” para una correcta succión durante la fase protodiastólica, evitando la necesidad de generar un gasto energético importante para lograr la succión ventricular, lo que sucedería si las paredes del ventrículo estuviesen adosadas.

De manera estricta el ápex no efectúa casi desplazamiento mensurable alguno. Permanece prácticamente inmóvil durante todo el ciclo cardíaco y ejerce 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). Es así que, a pesar del concepto clásico de choque del corazón contra la pared torácica, la longitud se acorta por descenso de la base cardíaca al mismo tiempo que sufre un giro antihorario. El ápex está sometido a una presión final en su fondo de saco al momento del cierre de la válvula aórtica. Al ser expulsada la sangre el corazón se produce en sístole un movimiento de retropropulsión, principio de acción y reacción enunciado por la tercera ley de Newton, siendo el ápex el mayor tributario de la fuerza retrógrada que sufre la cavidad ventricular. Este movimiento de la sangre contra el fondo de saco explica la sensación “de choque” que se percibe en la parrilla costal. La zona apexiana, junto con la pared anterior, es la localización donde se generan los aneurismas de la pared ventricular en alto porcentaje, así como los aneurismas congénitos. En estos últimos, la zona de unión al ventrículo izquierdo es ancha; histológicamente carecen de capa muscular miocárdica y presentan una pared única de tejido fibroelástico, en ocasiones calcificada. (12)

El fondo de saco del ápex ha sido utilizado en la técnica de reconstrucción elipsoidal del ventrículo izquierdo. (13,14) La incisión, con ingreso por el vértice y de orientación paralela a la arteria descendente anterior, actúa sobre el área limitada por los segmentos descendente y ascendente de la banda miocárdica, corrige la distorsión del septum, y permite que se realice la cirugía ingresando en la pared avascular del ventrículo izquierdo, lo que impide arrastrar durante la resección el sistema arterial. La técnica de suturar los extremos superponiéndolos genera un efecto geométrico de solapa y refuerza el ápex, lugar especialmente vulnerable en la dilatación cardíaca. Tanto la incisión original como el tamaño de las solapas deben obedecer a la dilatación que presenta el ventrículo o a la cavidad que se desea conservar, con el fin de reducir los volúmenes ventriculares aumentados. Esta técnica se halla posibilitada por la conformación del ápex, avascular y casi sin músculo.

El hecho esencial para la mecánica cardíaca es que las fibras musculares de la base y del ápex se desplazan en sentido opuesto. Esta disparidad en las direcciones comentadas tiene correlación entre las trayectorias alcanzadas por las fibras y el patrón helicoidal del miocardio cardíaco de comportamiento anisotrópico, que delimitan a los ventrículos.

## CONCLUSION

En 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 en su interior y por el epicardio externamente, sin prácticamente músculo intermedio que sea funcional. 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.

El ápex (espacio entre los segmentos descendente y ascendente constituyentes de la lazada apexiana) cuenta en condiciones normales con poder de estrechamiento anular (mecanismo esfinteriano) para soportar la presión intracavitaria retrógrada que produce la expulsión de la sangre.

Debe considerarse el ápex como un túnel con borde muscular uniforme 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 contactan, sin insertarse, en el anillo fibroso mitral, situación ausente a nivel del ápex. Se interpreta que la diferencia fundamental a nivel funcional entre ambas regiones, basal y apexiana, es el desplazamiento opuesto que tienen sus fibras. (12,16-19) Esta particularidad permite un trabajo de torsión miocárdica para lograr la expulsión sanguínea, y la detorsión que genera la succión y el lleno diastólico.

## Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés.

(Véase formulario de conflicto de intereses de los autores en la web / Material suplementario).

## BIBLIOGRAFÍA

1. 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:S50-5. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2006.02.061>
2. Hayabuchi Y, Sakata M, Kagami S. Assessment of the helical ventricular myocardial band using standard echocardiography. *Echocardiography*. 2015;32:310-8. <https://doi.org/10.1111/echo.12624>
3. Mora Llabata V, Roldán Torres I, Saurí Ortiza A, Fernández Galera R, Monteagudo Viana M, Romero Dorta E, et al. Correspondence of myocardial strain with Torrent-Guasp's theory. *Contributions of new echocardiographic parameters*. *Rev Argent Cardiol* 2016;84:541-9. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.v84.i6.9656>

4. Nakatani S. Left ventricular rotation and twist: why should we learn? *J Cardiovasc Ultrasound* 2011;19:1-6. <https://doi.org/10.4250/jcu.2011.19.1.1>
5. Kocica MJ, Corno AF, Carreras-Costa F, Ballester-Rodes M, Moghbel MC, Cueva CN, et al. The helical ventricular myocardial band: global, three-dimensional, functional architecture of the ventricular myocardium. *Eur J Cardiothorac Surg* 2006;29:Suppl-I:S21-40. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2006.03.011>
6. Trainini JC, Elenchwajg B, López-Cabanillas N, Herreros J, Lago N. Ventricular torsion and cardiac suction effect. The electrophysiological analysis of the cardiac muscle". *J Clin Exp Cardiol* 2015;6:10.
7. Trainini JC, Lowenstein J, Beraudo M, Wernicke M, Trainini A, Llabata MV, et al. Myocardial torsion and cardiac fulcrum (Torsion myocardique et pivot cardiaque). *Morphologie* 2021;105:15-23. <https://doi.org/10.1016/j.morpho.2020.06.010>
8. Trainini J, Beraudo M, Wernicke M, Trainini A, Haber Lowenstein D, Bastarrica M, et al. El soporte del miocardio. *Rev Argent Cardiol* 2021;89:225-31. <https://doi.org/10.7775/rac.es.v89.i4.18180>
9. Torrent Guasp F, Buckberg G, Carmine C, Cox J, Coghlan H, Gharib M. The structure and function of the helical heart and its buttress wrapping. I. The normal macroscopic structure of the heart. *Seminars in Thorac and Cardiovasc Surg* 2001;13:301-19. <https://doi.org/10.1053/stcs.2001.29953>
10. Ballester M, Ferreira A, Carreras F. The myocardial band. *Heart Fail Clin* 2008;4:261-72. <https://doi.org/10.1016/j.hfc.2008.02.011>
11. Trainini JC, Herreros J, Elenchwajg B, López-Cabanillas N, Lago N, Lowenstein JA, et al. "Fundamentos de la Nueva Mecánica Cardíaca. La Bomba de Succión". Ed UCAM; Murcia, España, 2015.
12. Wennevold A, Damgaard Andersen E, Efsen F, Ramsoe Jacobsen J, Lauridsen P. Congenital apical aneurysm of the left ventricle: surgical removal in two infants. *Eur J Cardiol* 1978;6:411-9.
13. 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. [https://doi.org/10.1016/S1134-0096\(11\)70064-X](https://doi.org/10.1016/S1134-0096(11)70064-X)
14. Trainini J, Lago N, Bastarrica ME, Trainini A. Restauración ventricular y células madre en insuficiencia cardíaca isquémica con disfunción mitral. *Cirugía Cardiovascular* 2020;27:151-3. <https://doi.org/10.1016/j.circv.2020.03.072>
15. Trainini J, Lowenstein J, Beraudo M, Trainini A, Mora Llabata V, Wernicke M. "Myocardial Torsion". Ed Biblos, Buenos Aires; Argentina, 2019
16. Henson RE, Song SK, Pastorek JS, Ackerman JH, Lorenz CH. Left ventricular torsion is equal mice and humans. *Am J Physiol Heart Circu Physiol* 2000; 278:H1117-H1123. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.2000.278.4.H1117>
17. Papadacci C, Finel V, Provost J, Villemain O, Bruneval P, Genisson JL, et al. Imaging the dynamics of cardiac fiber orientation in vivo using 3D Ultrasound Backscatter Tensor Imaging. *Sci Rep* 2017;7:830. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00946-7>
18. Sengupta PP, Krishnamoorthy VK, Korinek J, Narula J, Vannan MA, Lester SJ, et al. Left ventricular form and function revisited: applied translational science to cardiovascular ultrasound imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2007;20:539-51. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2006.10.013>
19. Wu MT, Tseng WY, Su MY, Liu Ch, Chiou KR, Wedeen VJ, et al. Diffusion tensor magnetic resonance imaging mapping the fiber architecture remodeling in human myocardium after infarction. Correlation with viability and wall motion. *Circulation* 2006;114:1036-45. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.545863>