

El fulcro cardíaco y su relación con el nódulo auriculoventricular

Cardiac Fulcrum, its Relationship with the Atrioventricular Node

JORGE TRAININI^{1, MTSAC}, MARIO WERNICKE², MARIO BERAUDO³, MARTA COHEN⁴, ALEJANDRO TRAININI^{1, 3}, MARÍA ELENA BASTARRICA³, BENJAMÍN ELENCAWAG¹, JORGE LOWENSTEIN^{5, MTSAC}, ALEJANDRO VENTURA⁶

RESUMEN

Introducción: El estudio de la anatomía funcional del miocardio helicoidal continuo permite visualizar su inicio y fin en el nacimiento de los grandes vasos. En nuestras investigaciones siempre hemos considerado que debía tener un punto de unión que permitiera su rotación helicoidal para cumplir los movimientos fundamentales de acortamiento-torsión (sístole) y alargamiento-destorsión (succión). Una vez encontrado, se le llamó fulcro cardíaco.

Objetivo: Esta investigación tiene como objeto describir y entender la interrelación entre el fulcro cardíaco y el nódulo auriculoventricular de Aschoff-Tawara.

Materiales y métodos: Se utilizaron 31 corazones procedentes de la morgue y del matadero: 17 correspondieron a bóvidos y 14 a seres humanos.

Resultados: En nuestras investigaciones hemos demostrado que el soporte del miocardio, denominado fulcro cardíaco, que se localiza en el trayecto del segmento septal del anillo aórtico y se extiende desde el triángulo izquierdo hasta el derecho por debajo del origen de la arteria coronaria derecha, es adyacente al nódulo auriculoventricular (AV). Otro aspecto importante de esta posición contigua es que el fulcro está rodeado, e incluso invadido, por un plexo nervioso interconectado con el nódulo.

Conclusiones: Esta descripción del fulcro cardíaco pondría fin al problema de la falta de apoyo del miocardio para cumplir su función de torsión/destorsión. La proximidad del fulcro al nódulo AV y la penetración de los plexos nerviosos en el apoyo indican la existencia de una unidad electromecánica, que hemos investigado en función de la anatomía helicoidal del corazón. Hemos comprobado una mejor estimulación cardíaca cuando el catéter se coloca en el infundíbulo ventricular derecho.

Palabras clave: Anatomía cardíaca - Miocardio - Fulcro cardíaco - Soporte miocárdico - Nódulo AV

ABSTRACT

Background: The functional anatomy of the helical, continuous myocardium allows envisioning that it initiates and ends at the origin of the great vessels. In our research, we have always considered that it should have a point of attachment to allow its helical rotation to fulfill the fundamental movements of shortening-torsion (systole) and lengthening-detorsion (suction), which once found, was called the cardiac fulcrum. **Objective:** The research aims to describe the important aspect of understanding the interrelationship between the cardiac fulcrum and the Aschoff-Tawara atrioventricular node.

Material and Methods: A total of 31 hearts, arising from the morgue and slaughterhouse were used: 17 corresponded to bovines and 14 were human.

Results: Our investigations have shown that the myocardial support termed cardiac fulcrum, located in the trajectory of the aortic annulus septal segment, extending from the left to the right trigone and below the origin of the right coronary artery, is adjacent to the AV node. Another important aspect of this contiguous position is that the fulcrum is surrounded, and even invaded, by a rich nervous plexus interconnected with the node.

Conclusions: This description of the cardiac fulcrum would end the problem of lack of support of the myocardium to fulfill its function of torsion/detorsion. The proximity of the fulcrum to the AV node and the penetration of the nervous plexuses in the support suggest an electromechanical unit, which we have investigated according to the helical anatomy of the heart, establishing an improved cardiac stimulation with a catheter placed in the right ventricular outflow tract.

Key words: Cardiac Anatomy - Myocardium - Cardiac Fulcrum - Myocardial Support - AV node

REV ARGENT CARDIOL 2023;91:449-455. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v91.i6.20722>

Recibido: 27/05/2023 - Aceptado: 03/11/2023

Dirección para correspondencia: Jorge Carlos Trainini. E-mail: jctrainini@hotmail.com



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

©Revista Argentina de Cardiología

¹ Hospital Presidente Perón, Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional de Avellaneda, Argentina.

² Departamento de Anatomía Patológica, Clínica Güemes, Luján, Buenos Aires, Argentina.

³ Departamento de Cirugía Cardíaca, Clínica Güemes, Luján, Buenos Aires, Argentina.

⁴ Departamento de Histopatología Sheffield Children's NHS FT, Reino Unido.

⁵ Departamento de Cardiología, Investigaciones Médicas, Buenos Aires, Argentina.

⁶ Cordis-Instituto del Corazón, Resistencia, Chaco, Argentina

INTRODUCCIÓN

En investigaciones anteriores de nuestro grupo se ha demostrado la presencia de un soporte miocárdico que hemos denominado fulcro cardíaco, el cual se localiza en el trayecto del segmento septal del anillo aórtico y se extiende desde el triángulo izquierdo hasta el derecho (por debajo del origen de la arteria coronaria derecha). El origen y el final del miocardio se unen en este sitio, ya que como todo músculo necesita un soporte para cumplir su función. (1,2)

Al comprobar la contigüidad anatómica del fulcro con el nódulo de Aschoff-Tawara, nos propusimos analizar la relación anatómica e histológica del fulcro cardíaco con el nódulo auriculoventricular en un grupo de corazones humanos y bóvidos, así como la posible funcionalidad entre ambas estructuras.

Para demostrar esta relación en los corazones humanos, trabajamos con corazones de fetos, niños y adultos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizaron 31 corazones procedentes de la morgue y del matadero: a) 17 correspondieron a bóvidos de 2 años (10 machos y 7 hembras), cuyo peso era de 800-1000 g y b) 14 correspondieron a seres humanos (8 hombres y 6 mujeres), dos de fetos de 16 y 23 semanas, tres de lactantes de 36 días, 10 semanas y 27 semanas, uno de un niño de 4 años, uno de un niño de 10 años, cuyo peso era 116 g, y siete de adultos cuyo peso era de 300 g.

Se realizaron estudios anatómicos e histológicos. El corazón se fijó en formol tamponado al 10 %. Para el estudio histológico se utilizó hematoxilina y eosina, la técnica de tinción tricrómica de Masson y secciones de 4 micrómetros, y como tampón se utilizó formol al 10 %. También se realizó inmunohistoquímica (s100-neurofilamentos). (3) Dado que el material corresponde a piezas de la morgue y del matadero, no fue necesaria ninguna aprobación ética.

El miocardio único, continuo y helicoidal se desplegó de acuerdo con una técnica previamente publicada. (1,4) Se debe seguir un concepto fundamental al iniciar el despliegue, ya que, en la disección, cualquier intento de no respetar los ejes donde el miocardio se enrolla en forma de hélice provocará la ruptura de la masa miocárdica. La conjunción entre el origen y el fin del músculo cardíaco en el fulcro cardíaco constituye un punto de encuentro entre el segmento derecho y el segmento ascendente, el origen y el fin del miocardio (Figura 1). De este modo, ambos extremos se ubican en el mismo punto, y el origen de las fibras miocárdicas se encuentra en un plano anterior a las de su terminación. Las muestras del nodo auriculoventricular (AV) y del haz de His se obtuvieron en el triángulo de Koch.

RESULTADOS

De las investigaciones anatómicas se desprende que todos los corazones (bóvidos y humanos) poseen un soporte miocárdico cuya estructura histológica en los ejemplares analizados presenta carácter óseo o condroide-tendinoso. En esta estructura se insertan las fibras miocárdicas del origen y fin de la banda, las cuales corresponden al miocardio continuo enrollado en forma de hélice (Figura 2).

Localización y relaciones. El fulcro cardíaco se encuentra próximo a la válvula tricúspide (derecha), la aorta (superior) y el cordón pulmonar-tricuspídeo (anterior). Para localizarlo, es necesario desplazar la arteria pulmonar y el segmento derecho a la izquierda del observador y separar la raíz aórtica en el nacimiento del miocardio helicoidal. Mediante esta maniobra se descubre el fulcro por debajo de la aorta en un plano inferior y a la izquierda del triángulo derecho, sin continuidad con él, por debajo del nacimiento de la arteria coronaria derecha, desprendido de la continuidad aórtica y situado como un elemento complementario entre la aorta y el miocardio.

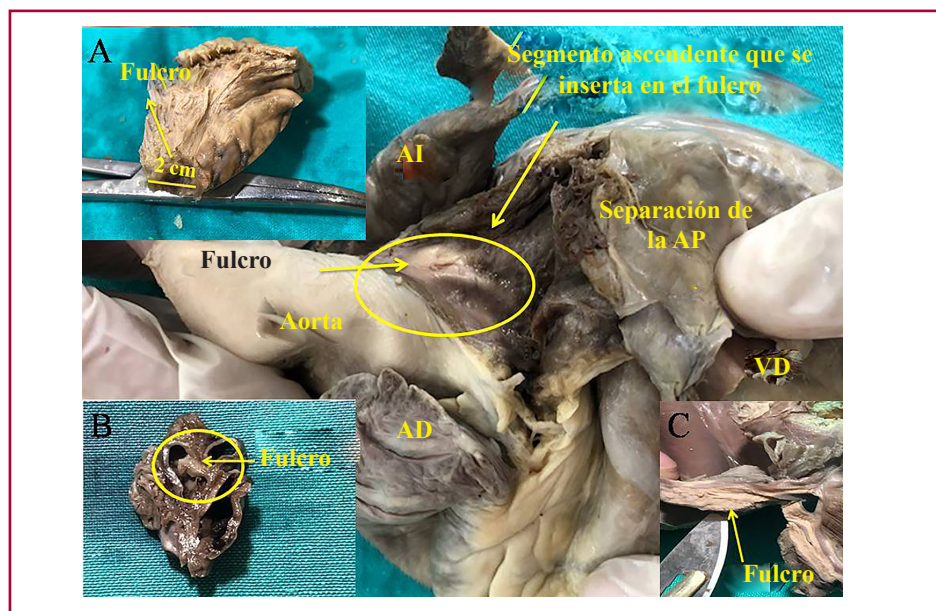
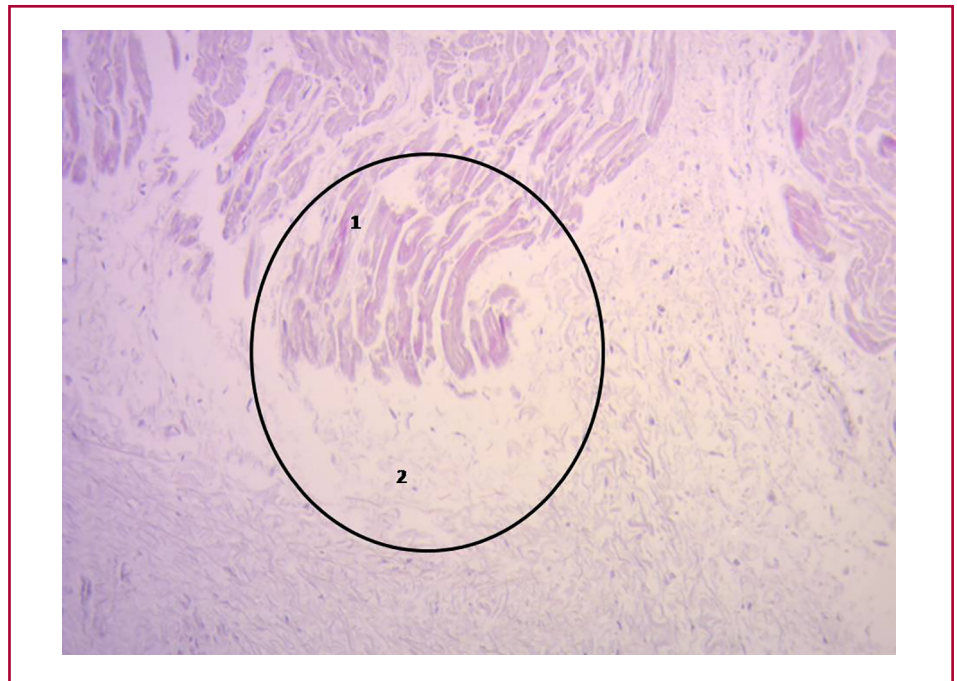


Fig. 1. Corazón humano adulto. Se observa el segmento ascendente que se inserta en el fulcro cardíaco. Referencias: AI: aurícula izquierda; AD: aurícula derecha; AP: arteria pulmonar; VD: ventrículo derecho. A: Fulcro cardíaco en un corazón humano de diez años. B: Fulcro cardíaco en el corazón de un embrión humano (23 semanas de gestación). C: Fulcro resecaado de un corazón humano adulto.

Fig. 2. Cardiomiocitos que penetran en el tejido fibrocolagenoso del fulcro cardíaco. Referencias: 1. Cardiomiocitos; 2. Matriz fibrocolagenosa (corazón humano adulto). El lugar de inserción se detalla en un círculo. Técnica de hematoxilina y eosina (HE) (15x).



Al estar situado en la unión auriculoventricular, en la inserción del tabique interventricular, por debajo de la aorta y de la arteria pulmonar, es adyacente al nódulo AV que se sitúa a su derecha (Figura 3). El nódulo AV se encuentra en la unión auriculoventricular, en la base del tabique muscular, por debajo del nacimiento de los grandes vasos. Se encuentra adyacente al fulcro cardíaco, situado entre este y la implantación de la valva septal tricuspídea. Constituye un conjunto de células (miocitos especializados) que Rushmer define como un extremo esférico o bulboso formado por haces de fibras (5) que envían los impulsos eléctricos a la masa miocárdica. En su continuidad se transforma lentamente en el haz de His, cuyo recorrido es corto, y a veces, incluso inexistente.

Histología. En los bóvidos, el fulcro es triangular. Su tamaño, corroborado por técnicas de disección e imágenes, tiene en promedio 37 mm de largo, 45 mm de ancho y 15 mm de espesor. (2) El análisis microscópico del fulcro cardíaco de los bóvidos muestra la presencia de trabéculas óseas como resultado de la osificación endocondral. Su estructura general se asemeja al crecimiento metafisario de los huesos largos. Es posible observar trabéculas óseas con osteoblastos y líneas segmentarias secundarias a la aposición ósea. Los mismos hallazgos histológicos se han encontrado en el resto de los mamíferos. (6)

En el corazón humano de 10 años, la descripción del fulcro cardíaco se relaciona con esta edad temprana, ya que presenta indicios de una zona central del fulcro formada por tejido condroide. Dada la edad, es lógico que su tamaño sea menor. Este hallazgo se repitió en el feto humano de 23 semanas, con las características zonas azuladas precondroideas en un estroma mixoide, así como en el corazón del recién nacido de 36 días.

En el análisis histológico del fulcro del corazón humano adulto (tamaño promedio de 25 mm de largo y 15 mm de ancho) se observó una matriz condroide-tendinosa. En principio, se han encontrado pruebas similares de detección, localización y morfología del fulcro en todos los corazones analizados, tanto de humanos como de bóvidos. Presentan inserción miocárdica en la estructura rígida del fulcro y forman una unidad de matriz cardiomiocítica, independientemente de su naturaleza ósea, cartilaginosa o tendinosa en los diferentes ejemplares estudiados. Este punto de unión implica, como en cualquier músculo, ejercer la función de soporte de la palanca muscular y también actuar como cojinete o almohadilla, a fin de evitar que la fuerza de rotación ventricular ya sea por esfuerzo de torsión o torque se transfiera a la aorta. De este modo, disipa la energía producida por el movimiento muscular helicoidal y evita el estrangulamiento o flexión de la arteria durante la eyección sistólica.

Inserción. La histología del fulcro de naturaleza colágeno-cartilaginosa determina la necesidad de un análisis adicional para comprender su función. En cada corazón y en todos los análisis histológicos hemos verificado la inserción del miocardio en el fulcro, hallazgo que se convierte en un punto firme de razonamiento para entender la función del fulcro cardíaco en su acción biomecánica de torsión-destorsión. En todos los corazones analizados encontramos esta fijación del miocardio en la estructura rígida del fulcro de acuerdo con los estudios realizados durante esta investigación.

Para establecer la identidad del fulcro cardíaco, también se realizó un análisis histológico de los trígonos, con el objetivo de encontrar cardiomiocitos en su composición como posibilidad de la inserción del músculo cardíaco en estas estructuras. En nuestra

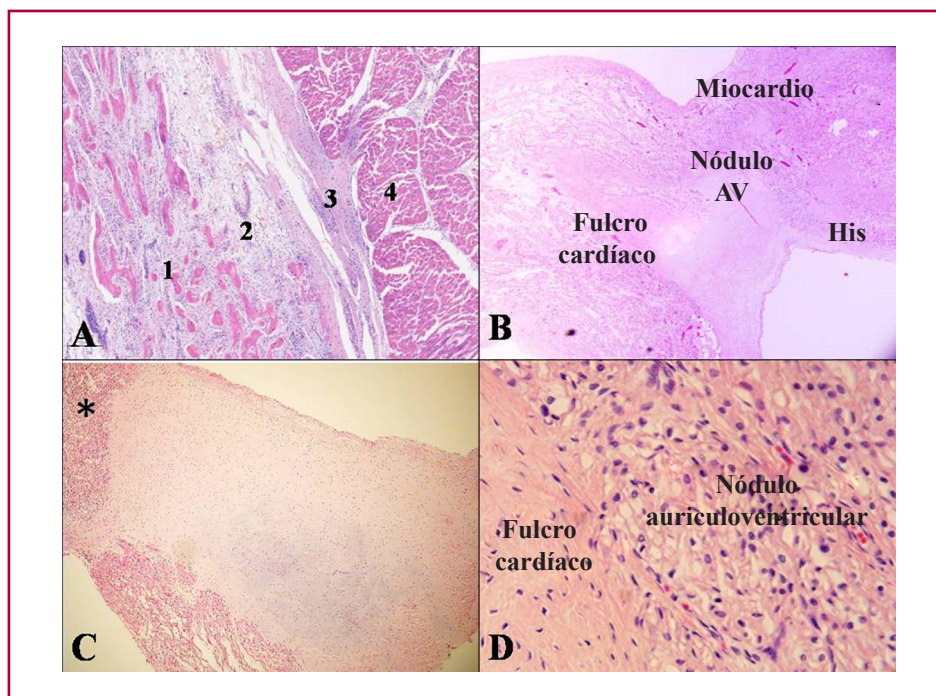


Fig. 3. A: Corazón de bóvido, HE x25. Se observan plexos asociados a trabéculas fibrocondroides y miocardio. 1: trabéculas óseas. 2: plexos. 3: tejido fibroconjuntivo. 4: miocardio. **B:** Corazón humano de un recién nacido de 36 días, aumento 20x. Se observa el fulcro cardíaco de matriz cartilaginosa en el miocardio y en el nódulo AV adyacente. AV: Nódulo auriculoventricular de Aschoff-Tawara. **C:** Corazón de un lactante de 10 semanas. Fulcro cardíaco cartilaginoso adyacente a la región auriculoventricular (el asterisco indica el nódulo AV). HE x100. **D:** Corazón humano. El fulcro y el nódulo AV de Aschoff-Tawara se observan contiguos.

investigación solo se observó tejido colágeno sin cardiomiocitos en los triángulos, lo que confirma que el fulcro es el soporte del miocardio, tanto en su nacimiento como en su terminación.

Relación entre el fulcro cardíaco y el nódulo AV. En esta investigación se descubre un tema importante para los tratamientos de estimulación cardíaca, tanto en el corazón de los seres humanos como en el de los bóvidos. En el estudio histológico, el fulcro se encontró adyacente al nódulo AV, formando una gran acumulación celular de plexos con neurofilamentos. Esta contigüidad entre ambas estructuras se obtuvo en todos los ejemplares estudiados, tanto en corazones bóvidos como humanos. El punto esencial para el análisis es que los neurofilamentos (Figura 4) también se encuentran en el interior del fulcro cardíaco.

DISCUSIÓN

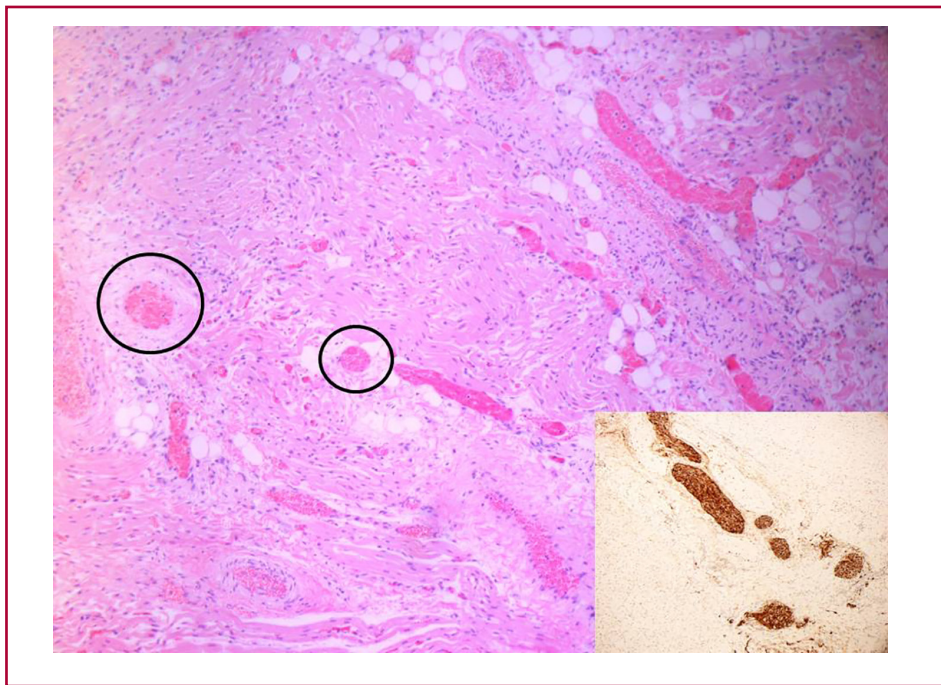
Las fibras miocárdicas constituyen un músculo único y continuo que describe una hélice doble para formar las paredes de ambos ventrículos. (4,7,8) Para cumplir su función muscular de torsión-destorsión, necesita un punto de apoyo que hemos hallado y denominado fulcro cardíaco, al que se fija en su inicio y terminación, del mismo modo que cualquier otro músculo. En este punto existe una analogía entre el músculo esquelético y el miocardio. El primero realiza su contracción entre un punto de apoyo fijo y otro móvil. Esta situación se da en el miocardio continuo, ya que existe mayor solidez en la inserción entre el fulcro y

el segmento ascendente con relación a la fijación inicial del segmento derecho en ese apoyo.

A partir de esta experiencia, surgen preguntas fundamentales: ¿por qué hemos hallado que en el corazón humano de fetos, lactantes, niños y adultos el fulcro cardíaco tiene características cartilaginosas, más allá de que cumple la misma función de fijación del miocardio helicoidal que otras especies? No olvidemos que el cartílago es el sustrato para la osificación endocondral, y aunque no siempre se osifique, es necesario para ese fin. Nuestra interpretación es que tal vez el fulcro cardíaco con característica ósea –como se observa en los bóvidos– sea un órgano vestigial típico de la evolución de los mamíferos. Una estructura vestigial debe entenderse como la conservación durante el proceso “evolutivo” de atributos genéticamente establecidos que han perdido la totalidad o parte de su función ancestral en determinadas especies. En este caso, la histología osteocartilaginosa identificada en los bóvidos se refiere a una matriz cartílago-tendinosa suficiente para lograr la inserción del miocardio y alcanzar una potencia muscular muy inferior a la de mamíferos de mayor tamaño. Recordemos que en esta investigación el fulcro bóvido es de naturaleza ósea. (2)

El hecho importante que establece la fijación de las fibras miocárdicas al fulcro cardíaco proviene de observaciones macroscópicas y microscópicas. Su conformación fue confirmada histológicamente. Hemos denominado fulcro cardíaco a esta estructura, al origen y al final del miocardio continuo helicoidal, como paralelismo y homenaje a la definición expuesta por

Fig. 4. Corazón de un lactante de 27 semanas. Se observa hipertrofia del tronco nervioso en el fulcro cardíaco (círculos negros) adyacente al nódulo AV. HE x200 El recuadro muestra un tronco nervioso de gran diámetro en el fulcro cardíaco confirmado con inmunohistoquímica para S-100.



Arquímedes de Siracusa referente al punto de apoyo que actúa como palanca. Cabe señalar que para visualizar el fulcro cardíaco es imprescindible desplegar el miocardio helicoidal.

En 1669, Richard Lower consideró que el miocardio era sometido a un movimiento de torsión relacionado con la disposición helicoidal de sus fibras. Expresó que el corazón ejercía un movimiento similar al de “retorcer una toalla”. Posteriormente, Henson (9) estudió y verificó este concepto en ratones. (1) El corazón logra la eyección de su contenido a través de la torsión de sus paredes e inicia su llenado al generar una presión negativa a través de la destorsión. El movimiento de torsión sincrónico con el acortamiento ventricular longitudinal se explica por la disposición helicoidal y la continuidad del músculo cardíaco. (10-13)

La disposición espacial del miocardio helicoidal continuo indica claramente que la propulsión la proporcionan sus paredes en las cavidades ventriculares que delimitan estas estructuras. Formado por la lazada basal (segmentos derecho e izquierdo) y la lazada apexiana (segmentos descendente y ascendente), la unidad muscular que conforma son las paredes de los ventrículos a las que proporciona fuerza de propulsión. (14-17)

La homogeneización muscular enmascara la continuidad espiral real de las fibras mediante la superposición de sus segmentos. Incluso las interconexiones transversales entre los tractos no invalidan el concepto de miocardio continuo, pues se entiende que esta disposición compacta es el resultado del desarrollo evolutivo para obtener solidez en su estructura en estricta re-

lación con su función. Esto implica considerar que su fortaleza estructural es requerida en aves y mamíferos para asegurar que la sangre sea eyectada a gran velocidad durante un tiempo limitado por un órgano que debe abastecer dos circulaciones (sistémica y pulmonar). La investigación anatómica del corazón mediante la disección adecuada (1), el examen histológico (2), el análisis de las imágenes de estudios radiológicos y ecocardiográficos (18-20), los estudios electrofisiológicos realizados con mapeo electroanatómico tridimensional (8,21) y la resonancia magnética cardíaca con tensor de difusión (14,15) muestran el curso muscular continuo que circunscribe los dos ventrículos.

La disposición helicoidal espacial del miocardio obliga al músculo a solapar segmentos. Esta situación anatómica tiene estrecha correspondencia con los movimientos miocárdicos y la estimulación que recorre sus segmentos (21-23), según los estudios electrofisiológicos que hemos realizado anteriormente. (21,22) La interpretación de la relación anatómica entre el fulcro cardíaco y el nódulo AV implica la complementariedad de la anatomía con la fisiología del miocardio helicoidal continuo, ya que la contigüidad que muestran se localiza en el punto donde comienza y termina la estimulación, con el desarrollo de la acción mecánica de torsión y destorsión en las fases sistólica y de succión ventricular.

El fulcro cardíaco, soporte e inserción del miocardio para realizar la función de palanca en sus movimientos, se localiza adyacente al nódulo AV de Aschoff-Tawara. De este modo, se constituye una unidad electromecánica situada en el origen y el final del miocardio

helicoidal único. Esta disposición anatómica y funcional del miocardio se apoya en un plexo de filamentos especializados que interactúan con los cardiomiocitos que trabajan mecánicamente.

La interpretación de los resultados de esta investigación llevada a cabo en corazones de seres humanos y de bóvidos conduce inevitablemente a una acción terapéutica. ¿Cuál es la explicación, según nuestra experiencia, de por qué se evidenció una mejor sincronía de los marcapasos cuando se colocó el catéter cerca de esta unidad electromecánica? El nódulo AV está situado por encima de la base del tabique muscular en la base de la implantación de la valva septal de la válvula tricúspide, en el lugar de inserción del tabique interventricular con la aorta y la arteria pulmonar. Con respecto a esto, por la adyacencia entre el fulcro cardíaco y el origen del miocardio continuo en su curso helicoidal en relación con el nódulo AV, se demostró que la estimulación en el infundíbulo ventricular derecho era más eficaz. Según esta experiencia, con marcapasos implantados en diferentes puntos del ventrículo derecho (punta, parahisiano, infundíbulo), con catéteres de fijación estándar activos, el estímulo en el infundíbulo ventricular derecho logró mejor sincronía eléctrica en el ventrículo izquierdo (Figura 5). (24) La región ideal para la localización del catéter de estimulación del marcapasos sería en la parte alta del infundíbulo, por debajo de la válvula pulmonar, y preferentemente en el tabique, pero no en la pared libre.

La función lleva al miocardio a tener un punto de apoyo como cualquier músculo esquelético, tanto en su origen como en su fin. Si el miocardio no tuviera esta conformación anatómica helicoidal espacial con

la inserción de ambos extremos en la base cardíaca y libre en la punta, es decir, como un péndulo en el tórax, y si no presentara una estimulación que permitiera la torsión y la destorsión, sería incapaz de lograr su extraordinaria potencia muscular.

El hallazgo de una estructura ósea en el fulcro cardíaco de los bóvidos y su relación con la textura mixoide-condroide de los corazones humanos, incluso en embriones, es coherente con el análisis de su interpretación. Esta disparidad se asocia a la evolución etaria diferente del material condroide respecto del óseo, y a la mayor potencia desarrollada por los corazones bóvidos que requieren un punto de apoyo más rígido.

Más allá de su mera mención, hasta el inicio de nuestras investigaciones, nunca se le había asignado una función o significado a su presencia, como tampoco se había descrito en el ser humano.

La adyacencia del fulcro cardíaco al nódulo AV, rodeado, e incluso invadido, por un plexo de neurofilamentos nos lleva a la consideración anatómica de una unidad electromecánica en la que participan la energía de estimulación y la mecánica muscular. La eficacia lograda con la colocación del catéter de estimulación en las proximidades del infundíbulo ventricular derecho confirma los hallazgos de esta investigación.

Limitaciones

La limitación más relevante es el número de ejemplares estudiados, de modo que esta experiencia debería ampliarse. Para explorar este tema se necesitan más experimentos electrofisiológicos e investigaciones clínicas, ya que esta investigación se puede clasificar como inicial.

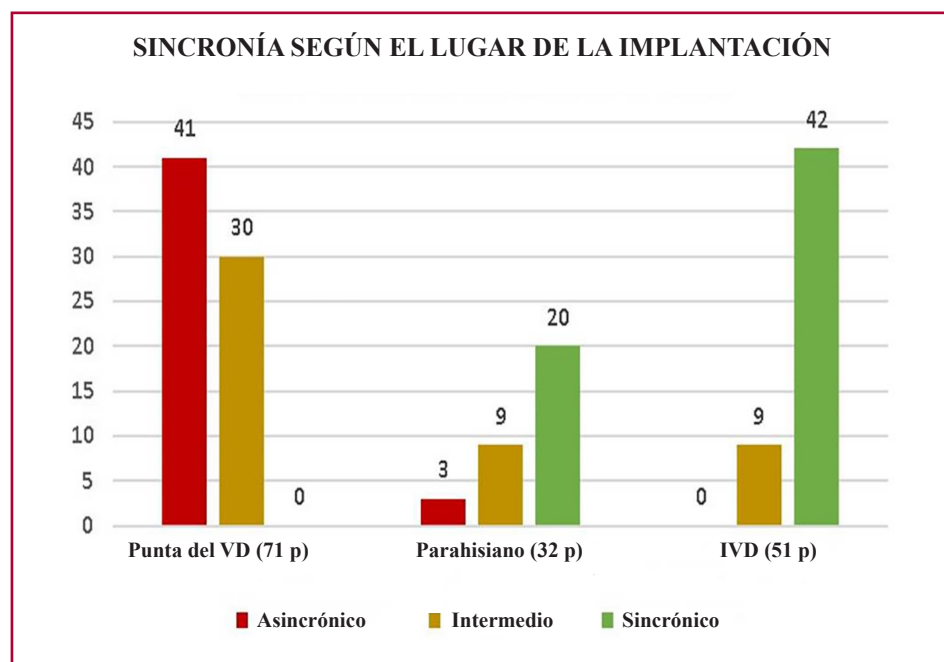


Fig. 5. Comparación de marcapasos implantados en diferentes puntos del ventrículo derecho (VD): punta, parahisiano, infundíbulo ventricular derecho (IVD). p: pacientes.

CONCLUSIONES

Los segmentos musculares que en continuidad conforman las cavidades ventriculares deben realizar sus movimientos sobre un punto de apoyo, el cual hemos investigado y denominado fulcro cardíaco, al igual que lo hace un músculo esquelético en una inserción firme.

Su presencia es invariable en todos los corazones estudiados, tanto bóvidos como humanos, pero su característica estructural es diferente. En el análisis profundo del fulcro cardíaco, esta diferencia, sin duda, se relaciona con la resistencia que debe oponer a la acción energética del miocardio en corazones de diferentes tamaños.

La adyacencia del fulcro cardíaco al nódulo AV es importante para explicar la unidad electromecánica del corazón.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

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

BIBLIOGRAFÍA

- Trainini JC, Lowenstein J, Beraudo M, Mora Llabata V, Carreras-Costa F, Valle Cabezas J, et al. Fulcrum and Torsion of the Helical Myocardium. Ed Biblos, Buenos Aires, Argentina, 2022 pp. 27-105.
- Trainini J, Lowenstein J, Beraudo M, Wernicke M, Trainini A, Llabata VM, et al. Myocardial torsion and cardiac fulcrum. *Morphologie*. 2021;105:15-23. <https://doi.org/10.1016/j.morpho.2020.06.010>
- Karamchandani JR, Nielsen TO, van de Rijn M, West RB. Sox10 and S100 in the diagnosis of soft-tissue neoplasms. *Appl Immunohistochem Mol Morphol*. 2012;20:445-50. <https://doi.org/10.1097/PAI.0b013e318244ff4b>
- Torrent-Guasp F. Estructura y función del corazón [Structure and function of the heart]. *Rev Esp Cardiol*. 1998;51:91-102. Spanish. [https://doi.org/10.1016/s0300-8932\(98\)74718-9](https://doi.org/10.1016/s0300-8932(98)74718-9)
- Rushmer RF. Structure and Function of the Cardiovascular System. Philadelphia, Saunders Company, 1972.
- Best A, Egerbacher M, Swaine S, Pérez W, Alibhai A, Rutland P, et al. Anatomy, histology, development and functions of Ossa cordis: A review. *Anat Histol Embryol*. 2022;51:683-95. <https://doi.org/10.1111/ah.12861>
- Cosín Aguilar JA, Hernández Martínez A, Tuzón Segarra MT, Agüero Ramón-Llín J, Torrent-Guasp F. Experimental study of the so called left ventricular isovolumic relaxation phase. *Rev Esp Cardiol*. 2009;62:392-9. English, Spanish. [https://doi.org/10.1016/s1885-5857\(09\)71666-4](https://doi.org/10.1016/s1885-5857(09)71666-4)
- Buckberg GD, Coghlan HC, Torrent-Guasp F. The structure and function of the helical heart and its buttress wrapping. V. Anatomic and physiologic considerations in the healthy and failing heart. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 2001;13:358-85. <https://doi.org/10.1053/stcs.2001.29957>
- Henson RE, Song SK, Pastorek JS, Ackerman JJ, Lorenz CH. Left ventricular torsion is equal in mice and humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2000;278:H1117-23. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.2000.278.4.H1117>
- Arvidsson PM, Töger J, Carlsson M, Steding-Ehrenborg K, Pedrizzetti G, Heiberg E, et al. Left and right ventricular hemodynamic forces in healthy volunteers and elite athletes assessed with 4D flow magnetic resonance imaging. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2017;312:314-28. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00583.2016>
- Pedrizzetti G, Arvidsson PM, Töger J, Borgquist R, Domenichini F, Arheden H, et al. On estimating intraventricular hemodynamic forces from endocardial dynamics: A comparative study with 4D flow MRI. *J Biomech*. 2017;60:203-10. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2017.06.046>
- Maksuti E, Carlsson M, Arheden H, Kovács SJ, Broomé M, Ugander M. Hydraulic forces contribute to left ventricular diastolic filling. *Sci Rep*. 2017;7:43505. <https://doi.org/10.1038/srep43505>
- Trainini JC, Trainini A, Valle Cabezas J, Cabo J. Left Ventricular Suction in Right Ventricular Dysfunction. *EC Cardiology* 2019;6:572-57.
- Poveda F, Gil D, Martí E, Andaluz A, Ballester M, Carreras F. Helical structure of the cardiac ventricular anatomy assessed by diffusion tensor magnetic resonance imaging with multiresolution tractography. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2013;66:782-90. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2013.04.021>
- Carreras F, Ballester M, Pujadas S, Leta R, Pons-Llado G. Morphological and functional evidences of the helical heart from non-invasive cardiac imaging. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2006;29:Suppl 1:S50-5. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2006.02.061>
- 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>
- Torrent-Guasp F, Buckberg GD, Clemente C, Cox JL, Coghlan HC, Gharib M. The structure and function of the helical heart and its buttress wrapping. I. The normal macroscopic structure of the heart. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 2001;13:301-19. <https://doi.org/10.1053/stcs.2001.29953>
- Trainini JC, Beraudo M, Wernicke M, Carreras-Costa F, Trainini A, Mora Llabata V, et al. "Evidence that the myocardium is a continuous helical muscle with one insertion". *REC: CardioClinics* 2022;57:194-202. <https://doi.org/10.1016/j.rccl.2022.01.006>
- Mora V, Roldán I, Romero E, Saurí A, Romero D, Pérez-Gozalbo J, et al. Myocardial Contraction during the Diastolic Isovolumetric Period: Analysis of Longitudinal Strain by Means of Speckle Tracking Echocardiography. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2018;5:41. <https://doi.org/10.3390/jcdd5030041>
- Mora V, Roldán I, Bertolín J, Faga V, Pérez-Gil MDM, Saad A, et al. Influence of Ventricular Wringing on the Preservation of Left Ventricular Ejection Fraction in Cardiac Amyloidosis. *J Am Soc Echocardiogr*. 2021;34:767-74. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2021.02.016>
- Trainini JC, Elenchwaj B, López-Cabanillas N, Herreros J, Lago N. Electrophysiological Bases of Torsión and Suction in the Continuous Cardiac Band Model. *Anat Physiol* 2015;5:S4-001. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4952.5200>
- Trainini JC, Elenchwaj B, López-Cabanillas N, Herreros J, Lowenstein J, Bustamante-Munguira J, et al. Ventricular torsion and cardiac suction effect: The electrophysiological analysis of the cardiac band muscle. *Interventional Cardiol* 2017;9:45-51.
- Elenchwaj B, López Cabanillas N, Cardinali EL, Barisani JL, Trainini J, Fischer A, et al. The Jurdham procedure: endocardial left ventricular lead insertion via a femoral transeptal sheath for cardiac resynchronization therapy pectoral device implantation. *Heart Rhythm*. 2012;9:1798-804. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2012.07.010>
- Ortega D, Logarzo E, Barja L, Paolucci A, Mangani N, Mazzetti E, Bonomini MP. Novel implant technique for septal pacing. A noninvasive approach to nonselective his bundle pacing. *Journal of Electrocardiology* 2020;63:35-40. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2020.09.008>