

ARTÍCULO ORIGINAL

1. Médico Gineco-Obstetra, Perinatólogo, MD, Doctor en Ciencias Médica, Doctor Honoris Causa, Profesor Titular de Obstetricia y Ginecología, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. ORCID 0000-0003-4766-7375
2. Médico Cirujano, Especialista en Medicina Materno Fetal y Ultrasonografía Perinatal. ORCID 0009-0003-6033-7545
3. Médico Cirujano, Especialista en Ultrasonido, Maestría en Ultrasonido Diagnóstico. ORCID 0009-0007-4818-5752
4. Médico Gineco-Obstetra, Médico Ultrasonografista e Imagenólogo. ORCID 0000-0002-9458-5809
5. Médico Cirujano, Especialista en Obstetricia y Ginecología, Maestría en Ultrasonido Diagnóstico. ORCID 0009-0001-8715-172X
6. Médico Gineco-Obstetra, Perinatólogo, Especialista en Cardiología Fetal. ORCID 0000-0003-3758-4962
7. Médico Cirujano, Especialista en Obstetricia y Ginecología, Especialista en Medicina Materno Fetal. ORCID 0000-0001-7021-6040
8. Médico Cirujano, Especialista en Obstetricia y Ginecología, Perinatólogo, Ecografista Perinatal. ORCID 0009-0001-1531-4227
9. Médico Cirujano, Especialista en Cardiología Pediátrica y Fetal, SAEU. ORCID 0009-0000-7594-4047
10. Medicina de Urgencias y Ultrasonografía, Departamento de Urgencias Hospital General Balbuena, Secretaría de Salud-CDMX, México. ORCID 0000-0003-1876-2014
11. MD, Maestría en Ultrasonido, UNIMESO, Profesor de Ginecología y Obstetricia, Universidad de Quito, Ex-Presidente de FLAUS. ORCID 0000-0002-3544-1477
12. Médico Cirujano, Cirujano Infantil, Médico Ultrasonografista. ORCID 0009-0007-7248-8147

Declaración de aspectos éticos

Reconocimiento de autoría: Los autores declaran que han realizado aportes a la idea de los investigadores señalados en la bibliografía, siendo el diseño del estudio, recolección de especímenes, disección, imágenes, análisis e interpretación de datos, propias de los autores.

Responsabilidades éticas: Protección de personas. El autor y colaboradores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado: El autor ha obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo quienes donaron los especímenes biológicos para cumplir con los objetivos del presente estudio, y embarazadas que se sometieron a la exploración ecocardiográfica fetal.

Financiamiento: El autor y colaboradores certificar que no han recibido apoyos financieros, equipos, en personal de trabajo o en especie, de personas, instituciones públicas y/o privadas para la realización del estudio.

Conflicto de intereses: El autor y colaboradores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimiento: Al Dr. Jorge Carlos Trainini por habernos estimulado a través de sus publicaciones y contacto personal para emprender el desarrollo y concluir este trabajo.

Recibido: 1 noviembre 2023

Aceptado: 13 noviembre 2023

Publicación en línea: 13 diciembre 2023

Correspondencia:

Alberto Sosa Olavarría
✉ asosaolavarría@gmail.com

Citar como: Sosa Olavarría A, Martí Peña A, Martínez M A, Zambrana Camacho J, Ulloa Virgen J, Zurita Peralta J, Alcedo A, Pérez-Canto CH G, Vázquez E, Antúñez-Montes OY, Moncayo R, Belgoff S. Fulcro cardíaco de Trainini en el corazón fetal. Rev peru ginecol obstet. 2023;69(4). DOI: <https://doi.org/10.31403/rpgo.v69i2579>

Fulcro cardíaco de Trainini en el corazón fetal

Trainini cardiac fulcrum in the fetal heart

Alberto Sosa Olavarría¹, Arturo Martí Peña², Artemio Martínez M³, Jorge Zambrana Camacho⁴, Jesús Ulloa Virgen⁵, Jesús Zurita Peralta⁶, Alexander Alcedo⁷, Gonzalo Pérez-Canto CH⁸, Esteban Vázquez⁹, Omar Yassef Antúñez-Montes¹⁰, Roberto Moncayo¹¹, Sergio Belgoff¹²

DOI: <https://doi.org/10.31403/rpgo.v69i2579>

RESUMEN

Objetivo. Demostrar mediante la disección de piezas anatómicas y de imágenes ultrasonográficas prenatales del corazón fetal la presencia del fulcro cardíaco como estructura de fijación que sirve de soporte a la banda miocárdica helicoidal. **Material y métodos.** Se disecaron 6 corazones de fetos entre las 20 y 24 semanas de edad gestacional productos de abortos espontáneos, logrando encontrar el fulcro cardíaco en la proximidad de la aorta y conexiones con fibras miocárdicas. En 50 embarazos simples con fetos entre las 18 y 37 semanas de gestación, mediante ultrasonografía cardíaca fetal se obtuvieron las modalidades 2D, Doppler, color y tridimensional, STIC, HD Flow y speckle tracking, imágenes, medidas del fulcro y su cinética. **Resultados.** Con la estrategia descrita se identificó y demostró la presencia del fulcro cardíaco o palanca miocárdica, estableciendo sus características anatómicas, conexiones con fibras miocárdicas del asa cardíaca y la biometría según la edad gestacional. Se formula una hipótesis sobre la biomecánica o cinética del fulcro durante el ciclo cardíaco. **Conclusiones.** Para que el corazón cumpla su función de bomba aspirante e impelente debe poseer un punto de apoyo, una palanca o fulcro, que constituye una especie de unidad músculo-tendinosa. Dicha palanca presenta desplazamientos mixtos durante la torsión y detorsión del miocardio. Sus diámetros aumentan progresivamente a medida que avanza la gestación. **Palabras clave.** Corazón fetal, Fulcro cardíaco, Palanca miocárdica, Biomecánica, Cinética cardíaca, Hueso cardíaco, *Ossa cordis*

ABSTRACT

Objective: To demonstrate by dissection of anatomical specimens and prenatal ultrasonographic images of the fetal heart the presence of the cardiac fulcrum as a fixation structure supporting the helical myocardial band. **Methods:** Six hearts of fetuses between 20-24 weeks of gestational age resulting from spontaneous abortions were dissected, finding the cardiac fulcrum in the proximity of the aorta and connections with myocardial fibers. In 50 singleton pregnancies with fetuses between 18-37 weeks of gestation, fetal cardiac ultrasonography was used to obtain 2D, Doppler, color and three-dimensional modalities, STIC, HD Flow and speckle tracking, images, fulcrum measurements and its kinetics. **Results:** With the described strategy, the presence of the cardiac fulcrum or myocardial lever was identified and demonstrated, establishing its anatomical characteristics, connections with myocardial fibers of the cardiac loop and the biometry according to gestational age. A hypothesis on the biomechanics or kinetics of the fulcrum during the cardiac cycle is formulated. **Conclusions:** In order for the heart to fulfill its function as an aspirating and impelling pump, it must have a support point, a lever or fulcrum, which constitutes a sort of muscle-tendon unit. This lever presents mixed displacements during myocardial torsion and detorsion. Its diameters increase progressively as gestation advances.

Key words: Fetal heart, Heart fulcrum, Myocardial lever, Biomechanics, Cardiac kinetics, Cardiac bone, *Ossa cordis*

INTRODUCCIÓN

En 1973, Torrent-Guasp^(1,2) consideró al miocardio como una banda muscular cardíaca, demostrando mediante disecciones que está constituido por un conjunto de fibras musculares retorcidas sobre sí mismas que asemejan una cuerda, aplanada lateralmente, que al dar dos vueltas en espiral define un helicoide que delimita la arquitectura básica de los dos ventrículos. Además, que la contracción secuencial iniciada desde el límite del asa basal en la base de la arteria pulmonar hasta la porción ascendente del asa apical que alcanza la aorta garantiza la función cardíaca como bomba aspirante, impelente, descrita siglos atrás por Erasistrato de Alejandría (400 a. C.).



La arquitectura que sirve de base a la propuesta de Torrent-Guasp, independiente de la disposición tridimensional de los cardiomiocitos considerados de manera individual, divide al miocardio en dos asas que forman la base (asa basal) y el vértice del corazón (asa apical). Ambos bucles están separados por un pliegue central de 180° que determina direcciones helicoidales macroscópicamente identificables (espirales dentro de espirales), recordando el principio de autosimilitud y dimensión fractal descrito por Mandelbrot⁽³⁾. Su estructura tridimensional global asemeja una superficie geométrica no orientable de triple torsión, a modo de una cinta de Möbius^(1,4,5).

Los hallazgos y propuestas de Torrent-Guasp fueron confirmadas en el corazón fetal por nosotros⁽⁶⁾, logrando desplegar la banda helicoidal en sus dos componentes, basal y apical, siguiendo la disección estandarizada también continuada por Antúnez-Montes⁽⁴⁾. Cada uno de estos componentes tiene dos segmentos: la basal -con segmentos anterior y posterior- que nace en la raíz de la arteria pulmonar y el asa apical con segmentos descendentes y ascendentes hacia la aorta, en una disposición tridimensional^(3,6-10).

MacIver DH y col.⁽¹¹⁾ señalan que la banda no existe como una entidad anatómica con bordes definidos, y concluyen que la discusión sobre la existencia de una banda miocárdica única de doble hélice debe llegar a su fin. Otros autores que cuestionan su existencia son Anderson y col.⁽¹²⁾. Las técnicas de resonancia (RMN) mediante tensor de difusión de imágenes⁽⁹⁾ han venido aportando evidencias acerca de los hallazgos de Torrent-Guasp e, independientemente de los planos de los cardiomiocitos en sistema multiplanar, estos se disponen sobre una arquitectura helicoidal de doble hélice.

Para entender cómo el miocardio pueda cumplir la misión que requiere una significativa fuerza energética, la pregunta que surge es, ¿A cuál punto de apoyo recurre para ejecutar su función contráctil? En ese sentido resulta fundamental citar a Trainini y col.^(13,14): 'La reflexión inevitable que surge es que, para efectuar la torsión, el miocardio debería realizarlo sobre un punto de apoyo, al igual que un músculo esquelético lo hace en una inserción firme'. Consideración seguida de dos preguntas: ¿Existe en el corazón humano esta estructura? Si es real

este apoyo, ¿cómo se insertan las fibras del músculo cardíaco en dicha estructura?

La literatura veterinaria⁽¹⁵⁻¹⁹⁾ refiere la existencia de una formación denominada *os cordis* en bóvidos, ovejas y chimpancés, ubicándose dicha estructura en el mismo sitio en el que Trainini y col.⁽²⁰⁾ la han hallado tanto en bóvidos como humanos. Nunca se le asignó a su presencia ninguna función ni significado. Asimismo, se carece de descripción y función en el ser humano, a no ser la aportada por Trainini y col.^(13,14,21-23). Estos autores concluyen que dicha estructura, a la que denominan fulcro o palanca miocárdica, 'constituye el punto de apoyo donde se insertan fibras del asa cardíaca miocárdica descrita por Torrent-Guasp' y está localizado en un plano en continuidad con la aorta, debajo y por delante de ella, pero independiente a los trígonos. Su ubicación es equidistante a estos. Es una estructura de características ósea, cartilaginosa y tendinosa, y de allí que su denominación como *os cordis* u *ossa cordis* debe ser sustituida por la de fulcro o palanca miocárdica.

OBJETIVOS

En esta investigación se desea demostrar y describir a través de disecciones la existencia del fulcro en corazones fetales. Asimismo, lograr que los participantes expertos en ecocardiografía fetal demuestren ecográficamente la visibilidad del fulcro, así como la técnica y ventanas para su óptima visualización y medición, de manera de registrar sus dimensiones según la edad gestacional. También, registrar su cinetismo durante el ciclo cardíaco, empleando técnicas como la ecografía 2D, modo TM, Doppler color, espectral, tridimensión con software STIC, HD Flow y la técnica del moteado (*speckle-tracking*). Finalmente, presentar una hipótesis acerca de su mecánica durante la sincronizada torsión y detorsión ventricular en el ciclo cardíaco.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una investigación observacional, prospectiva y longitudinal en la que se estudiaron 6 corazones provenientes de fetos con edades comprendidas entre las 20 y 24 semanas de edad gestacional, productos de abortos espontáneos. Se procedió, por parte del autor principal, a la fijación y disección minuciosa y pro-



gresiva de los especímenes, logrando mediante disección dirigida en diferentes planos visualizar el fulcro y sus conexiones con segmentos de ambas asas, basal y apical. Posteriormente, las imágenes de las disecciones se remitieron a los colaboradores, quienes siguiendo los hallazgos anatómicos realizaron una búsqueda dirigida hacia el fulcro, con lo cual se describió la técnica ecocardiográfica para su visualización, su forma, cinetismo y dimensiones de acuerdo a la edad gestacional. Para cumplir con estos objetivos, se estudiaron 50 pacientes con embarazos normales, desde las 18 hasta las 37 semanas de gestación, empleando US2D, modo TM, y tridimensional con software STIC, HD Flow y técnica de *strain* y *speckle-tracking*.

RESULTADOS

En todos los especímenes de corazón fetal disecados se pudo constatar macroscópicamente la ubicación del fulcro. La disección del miocardio logró descubrirlo por debajo y delante de la raíz de la aorta, en un plano inferior al triángulo derecho, implantado como una estructura complementaria entre los elementos de la unión atrioventricular, sin continuidad con la válvula aórtica. Se presentan imágenes anatómicas en las figuras 1 y 2.

Ecográficamente, se demostró la presencia del fulcro, partiendo del plano tetracameral y ubicando el tracto de salida del ventrículo izquierdo (eje largo de aorta), adyacente a la pared derecha del tronco arterial, por debajo de su válvula. También se logró visualizarlo en el eje

FIGURA 1. PIEZAS ANATÓMICAS QUE MUESTRAN EL FULCRO (F) EN EL INTERIOR DEL CÍRCULO ROJO. ARTERIA PULMONAR (AP) Y AORTA (AO), LOS ANILLOS VALVULARES DE TRICÚSPIDE (VT) Y MITRAL (VM), ATRIO DERECHO (AD) Y VENTRÍCULO IZQUIERDO (VI).

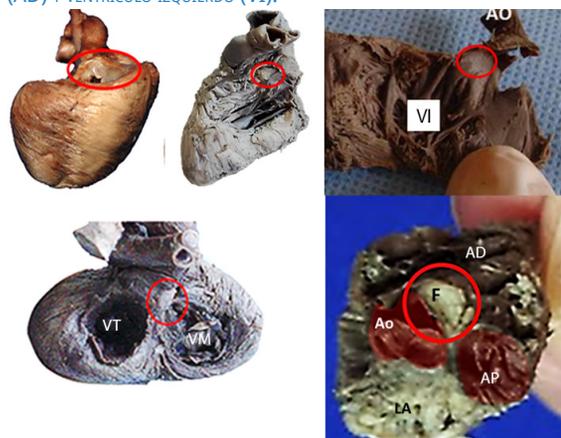
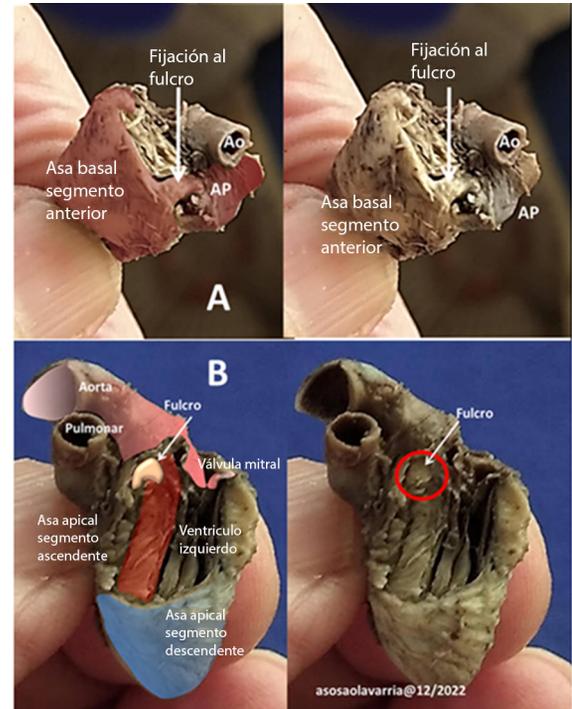


FIGURA 2. EN A: DISECCIÓN ORIENTADA A DEMOSTRAR LA FIJACIÓN DE FIBRAS DEL ASA BASAL (SEGMENTO ANTERIOR) AL EXTREMO DERECHO DEL FULCRO. B: DISECCIÓN ORIENTADA A DEMOSTRAR LA FIJACIÓN DE FIBRAS DEL ASA APICAL (SEGMENTO ASCENDENTE) AL EXTREMO INFERIOR DEL FULCRO (DENTRO DEL CÍRCULO ROJO).



corto de grandes vasos por debajo y a la derecha del anillo de la aorta. Su forma varía de acuerdo con el plano de sección, entre redondeada, rectangular o triangular. Y en el plano atrio-ventricular, en exploración con el modo M se observó su onda de desplazamiento vertical. El plano que muestra su forma triangular fue el utilizado para obtener los diámetros mayor y menor (figura 3 A y B). Las inserciones de fibras miocárdicas sobre el fulcro (figura 2) se detectaron en imágenes ecográficas. Las del asa basal parten (en su segmento derecho) hacia el borde anterior y extremo derecho del fulcro; las insertadas en la pared posterior de este provienen de las fibras del segmento endocárdico descendente y, finalmente, fibras del segmento ascendente de la lazada apical o apexiana se insertan en su extremo izquierdo (figura 3 B y C).

La relación del fulcro con la arteria coronaria derecha se muestra en la figura 4. El desplazamiento registrado con modo TM se muestra en la figura 3E. Su dinámica rotacional en el plano de 2D se determinó mediante STIC 3D y 4D HDL Flow, y moteado (*speckle-tracking*) (figura 5).



Las medidas obtenidas (máximas y mínimas) desde las 18 semanas de gestación hasta las 37 semanas calculando su promedio y desviación estándar para cada uno se muestran en la tabla 1.

Se presenta una hipótesis acerca del movimiento mixto del fulcro (figura 3D), en balancín, con desplazamiento longitudinal hacia el ápex con reposición hacia su posición inicial (base); y además su rotación bidireccional siguiendo la contracción secuencial (torsión-detorsión) de la banda miocárdica helicoidal (BMH). La dinámica rotacional del mismo se identificó durante la sístole y diástole empleando método ultrasonográfico (3D) y de moteado (figura 5). Se demostró que el fulcro exhibe inicialmente un giro en dirección de las manecillas del reloj y posteriormente, cuando inicia la contracción del segmento ascendente, el fulcro gira en sentido contrario al de las manecillas del reloj, coincidiendo el final del giro con la apertura de la válvula mitral. Ello permite el llenado rápido del ventrículo izquierdo. Sumado al giro, también hay un desplazamiento longitudinal del fulcro siguiendo el acercamiento de la base al ápex y posteriormente su ascenso a su posición original.

TABLA 1. FULCRO CARDÍACO FETAL. DIÁMETROS (EN MM), PROMEDIO DE VALOR MÁXIMO, MÍNIMO Y SUS RESPECTIVAS DESVIACIONES ESTÁNDAR SEGÚN LA EDAD GESTACIONAL EN SEMANAS.

Semanas	Mínimo promedio	+DE	Máximo promedio	+DE
18	1,93	0,53	3,28	0,89
20	2,13	0,33	3,33	0,40
22	2,20	0,21	4,32	0,76
24	2,40	0,34	4,40	0,83
26	2,46	0,36	4,54	0,52
28	2,51	0,37	4,76	0,93
30	2,56	0,46	4,82	0,95
32	2,93	0,91	5,05	1,33
33-37	4,10	0,85	7,37	1,96

DISCUSIÓN

En el año 2022, Best y col.⁽¹⁵⁾ enumeraron las funciones propuestas del *ossa cordis*, señalando que las investigaciones en los mamíferos han sugerido dos teorías principales y otras complementarias. En bovinos y camellos se ha propuesto que el músculo cardíaco se ancla en el *ossa cordis* mejorando la contracción; en bovinos, ovinos y nutrias se ha sugerido que protege al corazón de daños en circunstancias de alto estrés mecá-

FIGURA 3 (A, B, C, D, E). IMAGEN US 2D DE CORAZÓN FETAL DONDE SE MUESTRAN CÁMARAS CARDIACAS LA AORTA (Ao) Y EL FULCRO (F). ECOGRÁFICAMENTE SE DISTINGUE PARTIENDO DEL PLANO TETRACAMERAL (A) Y UBICANDO EL TRACTO DE SALIDA DEL VENTRÍCULO IZQUIERDO (VI), EJE LARGO DE LA ARTERIA AORTA (Ao), (B) ADYACENTE A LA PARED DERECHA DEL TRONCO ARTERIAL, POR DEBAJO DE SU VÁLVULA, PERO ES TAMBIÉN VISUALIZADO EN EL EJE CORTO DE GRANDES VASOS POR DEBAJO Y A LA DERECHA DEL ANILLO DE LA AORTA. EL PRIMERO DE LOS PLANOS DESCRITOS RESULTA EL ÓPTIMO DE SU FORMA TRIANGULAR PARA SU MEDIDA EN DIÁMETRO MAYOR Y MENOR. EN C, IMAGEN DONDE SE DESTACAN (ROJO) LAS FIBRAS QUE SE INSERTAN EN EL FULCRO (1, 2 Y 3). EN D, ESQUEMA QUE MUESTRA LOS MOVIMIENTOS DEL FULCRO, Y EN E, REGISTRO EN TM DE DICHA ESTRUCTURA CON DESPLAZAMIENTO EN DOS DIRECCIONES.

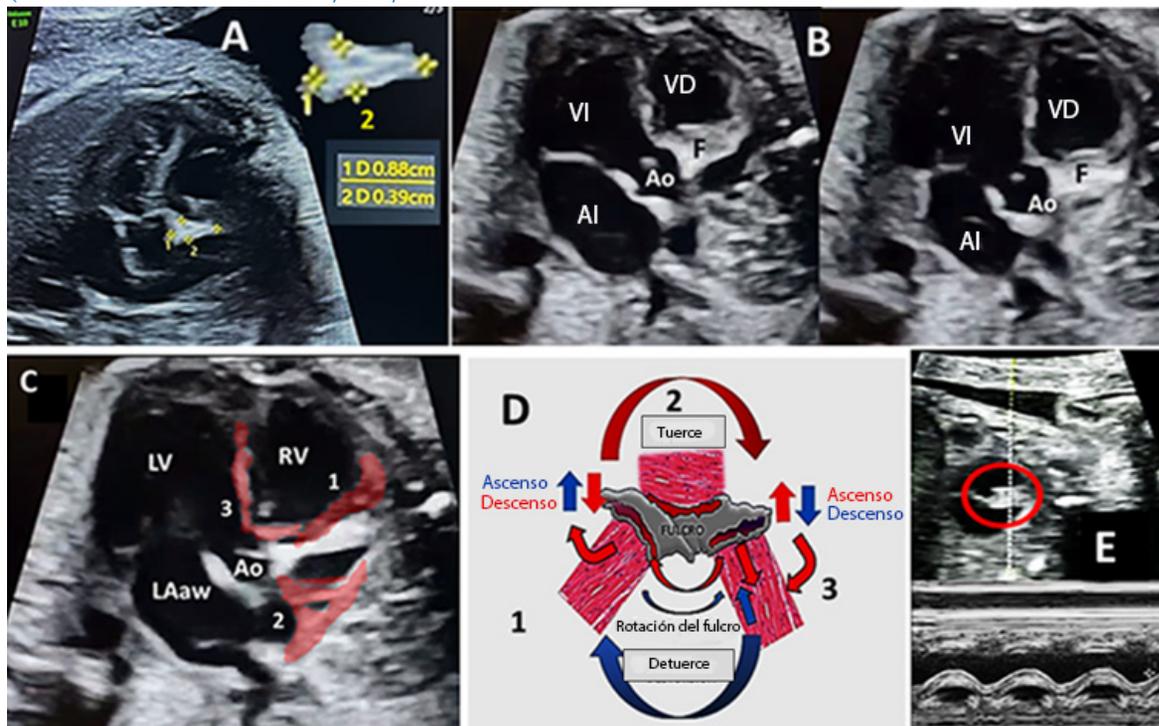




FIGURA 4. IMÁGENES DOPPLER COLOR QUE MUESTRAN LA AORTA (Ao), EL FULCRO (FLECHAS ROJAS) Y ARTERIA CORONARIA (AC) DERECHA (FLECHA AMARILLA).

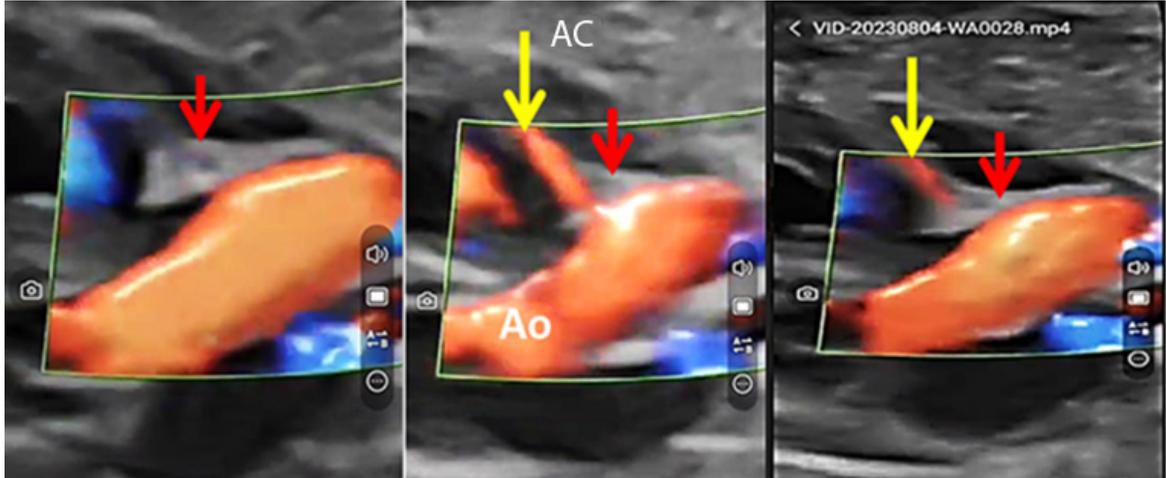
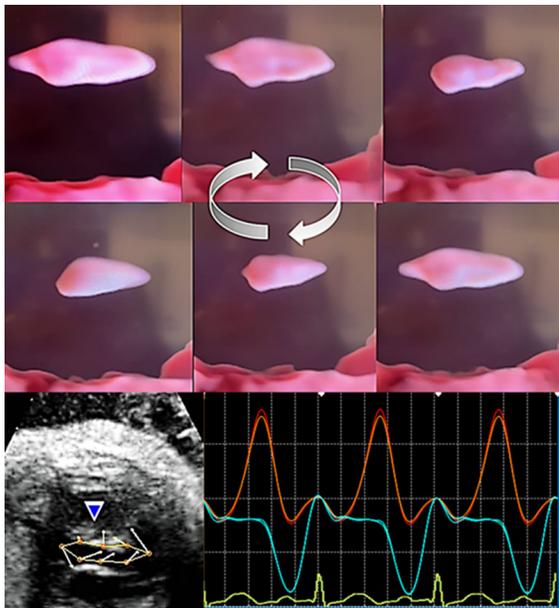


FIGURA 5. IMÁGENES EN 3D CON SOFTWARE STIC, HD Flow (TOPE) QUE MUESTRA EL FULCRO EN DIFERENTES POSICIONES OBTENIDAS CUADRO A CUADRO EN VIDEO Y QUE DEMUESTRAN MOVIMIENTO ROTACIONAL. EN LA PARTE INFERIOR DESPLAZAMIENTO DEL FULCRO REGISTRADO MEDIANTE SPECKLE-TRACKING.



nico; y en chimpancés, caballos, gatos y perros, su presencia se ha asociado con enfermedades cardiovasculares.

En los humanos, el fulcro, pequeña estructura ósteo-condroide y tendinosa dentro del corazón, ayuda a anclar la banda miocárdica para ayudar a la contracción. Está ubicado frente a la aorta, justo debajo del trígono derecho, la banda miocárdica inserta parte de sus fibras en este a manera de un tendón músculo-osteóide. El análisis histológico de corazones de animales y de humanos^(5,13,16-19,24-26) ha mostrado la presencia de

miocitos cardíacos dentro del fulcro. Además, se indica que el motivo de esta inserción en el *ossa cordis* podría ayudar a estabilizar los corazones durante la contracción y relajación. Y no queda la menor duda a partir de los trabajos de Trainini y col.⁽²⁵⁻²⁸⁾ de la existencia de esta estructura en el corazón humano, desde la etapa prenatal, infantil y adultez, que sirve de punto de apoyo para que el corazón pueda torcerse y destorcerse, desplazar y reponer la unión atrio ventricular, alternando así y de manera activa poderosas fuerzas de compresión y succión según el *momentum* del desplazamiento y la torsión.

Anteriormente, Torrent Guasp junto a Kocica y col.^(1,27) habían sugerido la necesidad de un punto de apoyo mecánico en el corazón. Se le llamó 'hemoesqueleto dinámico' mediante una explicación física, aplicando los principios de la palanca de primer grado; el volumen de sangre adquirido en los ventrículos como fluido no compresible sería el punto de apoyo. Los mismos autores denominaron a este fenómeno como *fulcrum radius*, siendo que el apoyo que brinda el miocardio circundante variará según los cambios consecutivos del volumen de sangre intraventricular. De aquí el término 'dinámico', concluyendo que, en cuanto mayor es el hemoesqueleto, menor es el efecto palanca y viceversa⁽¹⁾.

En los trabajos de Trainini y col.^(13,14,20-23) se completó la investigación con estudios de imágenes histológicas, radiográficas simples, resonancia magnética nuclear y tomografía computada, encontrando en todos los corazones humanos y bovinos estudiados un núcleo subyacen-



te al trígono derecho de estructura histológica ósea-condroide-tendinosa. El análisis microscópico reveló en corazones bovinos una matriz osteocondral trabecular. En todos los corazones humanos se determinó que el fulcro se halla formado por tejido condroide. En esta estructura, no descrita por otros autores, tiene inserción de fibras miocárdicas desde el origen y el final de las asas miocárdicas, y en él se insertan fibras del segmento derecho, del segmento descendente y del ascendente, origen y fin del músculo cardíaco. Su función tiene en común dar sostén al miocardio para poder generar la potencia, fenomenología electrofisiológica que necesita cualquier músculo. Por lo tanto, su presencia es constante en todos los corazones analizados, tanto de bóvidos como humanos, siendo la torsión y la detorsión responsable del mejor llenado y vaciado cardíaco⁽²⁸⁻³⁰⁾.

El cinetismo del fulcro que proponemos es el siguiente: cuando ocurre la contracción del asa basal en sus dos segmentos (derecho e izquierdo), el ventrículo derecho (VD) comprime y eyecta su precarga. En este momento, el fulcro en su extremo donde se fijan fibras del segmento anterior del asa basal se desplaza hacia abajo y hacia la pared externa del VD, mientras que el extremo opuesto donde se insertan fibras del segmento ascendente del asa apical se eleva; cuando este segmento se contrae, hace descender el extremo izquierdo y se completa la eyección final en el ventrículo izquierdo (VI); así se cumple el movimiento de balancín. Cuando el corazón se tuerce y se destuerce, el fulcro rota en un sentido y luego se repone. El tercer componente de este movimiento mixto ocurre cuando la unión atrio-ventricular (AV) se desplaza hacia la punta y luego regresa, el fulcro desciende y asciende. Todo este cinetismo ocurre de manera secuencial y sincronizada en función a la duración del ciclo cardíaco, y la actividad atrial es tan solo un complemento de la eficiencia de la bomba^(30,31).

La reflexión inevitable que surge es que, para efectuar la torsión, el miocardio debe realizarlo sobre un punto de apoyo, al igual que un músculo esquelético, y lo hace en una inserción firme, el fulcro o palanca mecánica del corazón. Si aceptamos como válidos los argumentos de Torrent-Guasp y los complementamos con los hallazgos de Trainini y col.^(13,14,20-23), debemos concluir que se están abriendo nuevos caminos

para el entendimiento de una nueva fisiología o electro biomecánica cardíaca que tendrá amplias repercusiones en el manejo de múltiples condiciones que afectan el rendimiento cardíaco⁽⁷⁾. Los resultados proporcionados por Torrent-Guasp, los aportes de Trainini y las teorías de llenado y vaciado ventricular perfectamente sincronizados nos han permitido intentar descifrar algunos de los jeroglíficos del Doppler cardíaco fetal⁽²⁹⁾.

En relación con el origen del tejido del fulcro, hasta ahora la única fuente aceptada de cartílago en el corazón es la cresta neural cardíaca, un ectomesénquima multipotente cuyos derivados celulares cardíacos se limitan principalmente al tabique aorta-pulmonar, las válvulas pulmonar y aórtica en desarrollo y los tejidos circundantes. Sin embargo, informes recientes han revelado que el epicardio embrionario, es decir, la capa de tejido que recubre el músculo cardíaco también contribuye de forma significativa a diversos tejidos conectivos cardíacos. El epicardio se desarrolla a partir del proepicardio, una masa de progenitores celómicos situada en el polo venoso del corazón embrionario. Duran y col.⁽²⁴⁾ señalan que la presencia de tejido cartilaginoso en los corazones embrionarios y adultos de distintas especies de vertebrados es un hecho bien documentado. Sin embargo, aunque históricamente se ha considerado que la cresta neural embrionaria es la principal fuente de cartílago cardíaco, los resultados publicados recientemente sobre el amplio potencial conectivo de las células del linaje epicárdico sugieren que también podrían diferenciarse en condrocitos. Estos resultados, al igual que los de Palmquist-Gómez y col.⁽³²⁾, son relevantes para la comprensión de la complejidad celular cardíaca y de las respuestas de los tejidos conectivos cardíacos a estímulos patológicos. De hecho, la diferenciación del cartílago se inicia mediante la condensación del tejido mesenquimal conectivo bajo la señalización instructiva proporcionada por factores de crecimiento clave como las BMP y los FGF y la regulación maestra de los factores de transcripción clave Sox9. Este proceso de diferenciación da lugar a la síntesis activa de una matriz extracelular (MEC) característica enriquecida en colágeno II, condroitín sulfato, ácido hialurónico y varios proteoglicanos.



LIMITACIONES

Para la ejecución del presente trabajo no se encontró obstáculo alguno, quedando pendiente evaluar la posible utilidad de la amplitud del movimiento del fulcro en función del rendimiento cardíaco y la presencia de esta estructura en cardiopatías congénitas, incluyendo anomalías estructurales y del ritmo.

CONCLUSIONES

El fulcro cardíaco se encuentra en el punto intermedio de las asas (basal y apical), garantizando un punto de apoyo o pivote para la contracción efectiva del miocardio helicoidal. Al servir como palanca de fibras cardíacas provenientes de las asas experimenta, como consecuencia de la contracción secuencial, desplazamiento de tipo mixto, tiene rotación horaria y antihoraria siguiendo la torsión y detorsión, desciende, asciende y se balancea.

La hipótesis derivada de este estudio es que cuando ocurre la despolarización del asa basal en sus dos segmentos, el VD comprime y eyecta su precarga. En este momento el fulcro, en su extremo donde se fijan fibras del asa basal, se desplaza hacia abajo mientras que el extremo opuesto, donde se insertan fibras del segmento ascendente del asa apical, se eleva facilitando la eyección final en el ventrículo izquierdo. Cuando el corazón se tuerce y destuerce, el fulcro gira en un sentido y en otro contrario, hasta que la unión atrio-ventricular se repone.

Tanto el llenado como el vaciado de los ventrículos es producto de un movimiento activo; en la torsión comprime y eyecta, y en ese momento ejerce poderosa fuerza de succión en las aurículas, que entonces se relajan (diástole atrial). En la detorsión ventricular, succiona hacia esta cavidad y comprime a las aurículas. Estas coadyuvan a la adquisición de precarga ventricular mediante la sístole atrial.

En el presente trabajo se confirman esos hallazgos morfológicamente y mediante ultrasonografía, y a través de estos se encuentra una explicación lógica desde el punto de vista físico y fisiológico que enriquece nuestros conocimientos sobre la capacidad del miocardio de cumplir su misión aspirante e impelente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Torrent-Guasp F, Kocica MJ, Corno AF, Komeda M, Carreras-Costa F, Flotats A, Cosin-Aguillar J, Wen H. Towards new understanding of the heart structure and function. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2005 Feb;27(2):191-201. doi: 10.1016/j.ejcts.2004.11.026. PMID: 15691670.
2. Torrent-Guasp F, Buckberg GD, Carmine 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 Oct;13 (4):301-19. doi: 10.1053/stcs.2001.29953. PMID: 11807730.
3. Mandelbrot B. La Intermitencia. La Geometría Fractal de la Naturaleza. España: Barcelona. TusQuetes; 2009:147-9.
4. Antúnez-Montes OY, Kocica MJ, Olavarria AS, Corno AF, Millan RA, Rosales CI, Sanchez Aparicio HE. Helical structure of the ventricular myocardium. A narrative review of cardiac mechanics. *Echocardiography.* 2023 Mar;40(3):161-73. doi: 10.1111/echo.15515. Epub 2023 Jan 6. PMID: 36610038.
5. Shaner RF. On the Muscular Architecture of the Vertebrate Ventricle. *J Anat.* 1923 Oct;58(Pt 1):59-70. PMID: 17103997; PMCID: PMC1249778.
6. Sosa Olavarría A, Zurita J, Giugni de Schenone G y col. Índice y tasa de deformación biventricular del corazón fetal y su utilidad en el cálculo del gasto cardiaco fetal. *Rev Lat Perinat.* 2018;21(1).
7. Antúnez Montes OY. Anatomical Correlation of the Helical Structure of the Ventricular Myocardium Through Echocardiography. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed).* 2020 Feb;73(2):153-60. English, Spanish. doi: 10.1016/j.rec.2018.10.016. Epub 2019 Apr 15. PMID: 31000468.
8. Ballester M, Ferreira A, Carreras F. The myocardial band. *Heart Fail Clin.* 2008 Jul;4(3):261-72. doi: 10.1016/j.hfc.2008.02.011. PMID: 18598979.
9. 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 Apr;29 Suppl 1:S50-5. doi: 10.1016/j.ejcts.2006.02.061. Epub 2006 Mar 24. PMID: 16563788.
10. Delhaas T, Kroon W, Decaluwe W, Rubbens M, Bovendeerd P, Arts T. Structure and torsion of the normal and situs inversus totalis cardiac left ventricle. I. Experimental data in humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2008 Jul;295(1):H197-201. doi: 10.1152/ajpheart.00876.2007. Epub 2008 Apr 25. PMID: 18441201.
11. MacIver DH, Stephenson RS, Jensen B, Agger P, Sánchez-Quintana D, Jarvis JC, Partridge JB, Anderson RH. The end of the unique myocardial band: Part I. Anatomical considerations. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2018 Jan 1;53(1):112-9. doi: 10.1093/ejcts/ezx290. PMID: 28958005.
12. Anderson RH, Ho SY, Redmann K, Sanchez-Quintana D, Lunkenheimer PP. The anatomical arrangement of the myocardial cells making up the ventricular mass. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2005 Oct;28(4):517-25. doi: 10.1016/j.ejcts.2005.06.043. PMID: 16179192.
13. Trainini JC, Beraudo M, Wernicke M, Trainini A, Lowestein D, Haber-Bastarrica ME, et al. El soporte del miocardio. *Rev Argent Cardiol.* 2021 Jun [citado 2023 Mayo 30];89(3):225-



31. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-37482021000300225&lng=es
14. Trainini JC, Lowenstein JA, Beraudo M, Trainini A, Mora Llabata V, Wernicke M. Myocardial Torsion. Ed. Biblos, Buenos Aires, Argentina; 2019: p. 33. Google Scholar
15. Best A, Egerbacher M, Swaine S, Pérez W, Alibhai A, Rutland P, Kubale V, El-Gendy SAA, Alsafy MAM, Baiker K, Sturrock CJ, Rutland CS. Anatomy, histology, development and functions of Ossa cordis: A review. *Anat Histol Embryol*. 2022 Nov;51(6):683-95. doi: 10.1111/ah.12861. Epub 2022 Sep 8. PMID: 36073246; PMCID: PMC9826330.
16. El-Gendy SAA, Alsafy MAM, Rutland CS, Ez Elarab SM, Abd-Elhafeez HH, Kamal BM. Ossa cordis and os aorta in the one-humped camel: Computed tomography, light microscopy and morphometric analysis. *Microsc Res Tech*. 2023 Jan;86(1):53-62. doi: 10.1002/jemt.24256. Epub 2022 Nov 10. PMID: 36354738; PMCID: PMC10100463.
17. Frink RJ, Merrick B. The sheep heart: coronary and conduction system anatomy with special reference to the presence of an os cordis. *Anat Rec*. 1974 Jun;179(2):189-200. doi: 10.1002/ar.1091790204. PMID: 4829081.
18. Yoshida M, Miyoshi K, Tajima T, Wada A, Ueda H, Kooriyama T. Anatomical features of ossa cordis in the Steller sea lion. *J Vet Med Sci*. 2022 May 1;84(5):660-5. doi: 10.1292/jvms.21-0261. Epub 2022 Apr 5. PMID: 35387952; PMCID: PMC9177389.
19. Young BA. Cartilago cordis in serpents. *Anat Rec*. 1994 Oct;240(2):243-7. doi: 10.1002/ar.1092400211. PMID: 7992890.
20. Trainini J, Lowenstein J, Beraudo M, Wernicke M, Trainini A, Llabata VM, Carreras CF. Myocardial torsion and cardiac fulcrum. *Morphologie*. 2021 Feb;105(348):15-23. doi: 10.1016/j.morpho.2020.06.010. Epub 2020 Jul 6. PMID: 32646845.
21. Trainini JC, Elencwajg 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. Google Scholar
22. Trainini JC, Elencwajg 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. *Interv Cardiol*. 2017;9:45-51. Google Scholar
23. Trainini JC, Trainini A, Valle Cabezas J, Cabo J. Left ventricular suction in right ventricular dysfunction. *EC Cardiology*. 2019;6:572-7.
24. Duran AC, Lopez D, Guerrero A, Mendoza A, Arqué JM, Sans-Coma V. Formation of cartilaginous foci in the central fibrous body of the heart in Syrian hamsters (*Mesocricetus auratus*). *J Anat*. 2004 Sep;205(3):219-27. doi: 10.1111/j.0021-8782.2004.00326.x. PMID: 15379927; PMCID: PMC1571337.
25. Moititi S, Baiker K, Strong V, Cousins E, White K, Liptovszky M, et al. Discovery of os cordis in the cardiac skeleton of chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Scientific Reports*. 2020;10:9417. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66345-7>
26. Pettigrew B. On the arrangement of the muscular fibers in the ventricles of the vertebrate heart with physiological remarks. *Philos Trans*. 1864;154:445-500. Google Scholar
27. Kocica MJ, Corno AF, Carreras-Costa F, Ballester-Rodes M, Moghbel MC, Cueva CN, Lackovic V, Kanjuh VI, Torrent-Guaspar F. The helical ventricular myocardial band: global, three-dimensional, functional architecture of the ventricular myocardium. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2006 Apr;29 Suppl 1:S21-40. doi: 10.1016/j.ejcts.2006.03.011. Epub 2006 Mar 24. PMID: 16563790.
28. Trumble DR, McGregor WE, Kerckhoffs RC, Waldman LK. Cardiac assist with a twist: apical torsion as a means to improve failing heart function. *J Biomech Eng*. 2011 Oct;133(10):101003. doi: 10.1115/1.4005169. PMID: 22070328.
29. Sosa-Olavarría A, Pérez-Canto, G. Banda miocárdica helicoidal en corazón fetal. *Ultrasonografía Embrio Fetal*. 2010;5:7-13. <https://studylib.es/doc/7712456/1-banda-miocardica-helicoidal-en-el-corazon>
30. Mora V, Roldán I, Romero E, Saurí A, Romero D, Pérez-Gozalbo J, Ugalde N, Bertolín J, Rodríguez-Israel M, Delgado CP, Lowenstein JA. Myocardial Contraction during the Diastolic Isovolometric Period: Analysis of Longitudinal Strain by Means of Speckle Tracking Echocardiography. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2018 Aug 9;5(3):41. doi: 10.3390/jcdd5030041. PMID: 30096870; PMCID: PMC6162423.
31. Li P, Wang Z, Ballester M, Narula J, Vannan MA. Isolated diastolic dysfunction is a contraction abnormality: new insights from left ventricular longitudinal and torsional dynamics by velocity vector imaging. *Circulation*. 2005;112:II500. DOI: 10.1016/S0300-8932(09)70896-6. Full text Access Google Scholar
32. Palmquist-Gomes P, Marín-Sedeño E, Ruiz-Villalba A, Rico-Llanos GA, Pérez-Pomares JM, Guadix JA. In Vivo and In Vitro Cartilage Differentiation from Embryonic Epicardial Progenitor Cells. *Int J Mol Sci*. 2022 Mar 25;23(7):3614. doi: 10.3390/ijms23073614. PMID: 35408974; PMCID: PMC8999123.