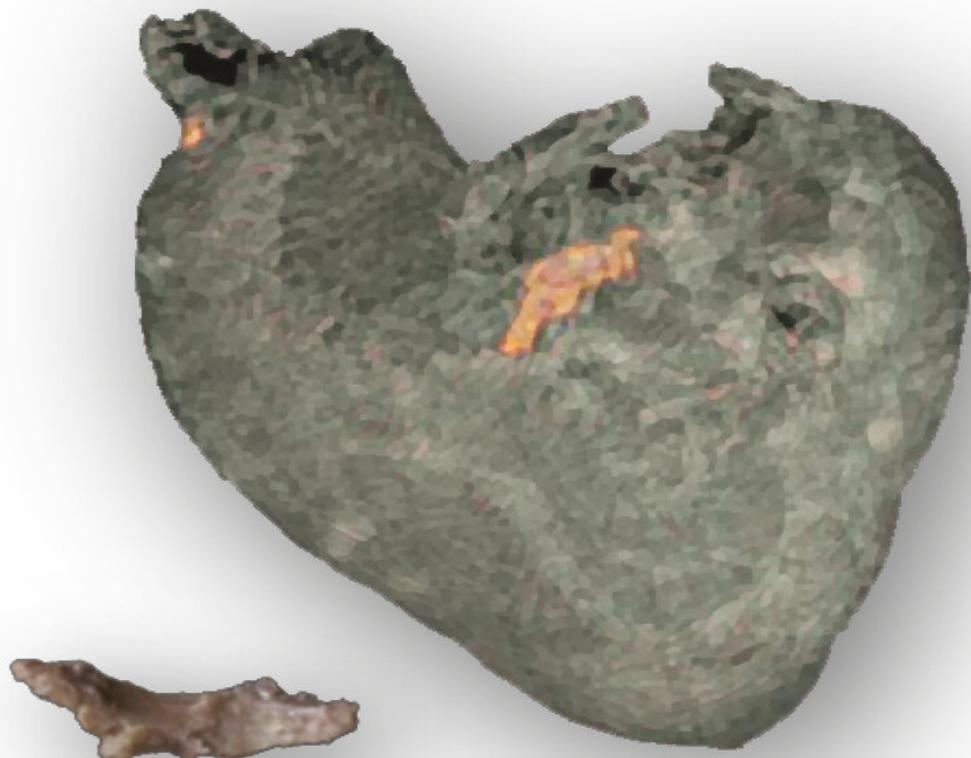


JORGE C. **TRAININI** JORGE A. **LOWENSTEIN** MARIO **BERAUDO**
VICENTE **MORA LLABATA** FRANCESC **CARRERAS-COSTA** JESÚS **VALLE CABEZAS**
MARIO **WERNICKE** BENJAMÍN D. **ELENCEWAJG** ALEJANDRO **TRAININI**
DIEGO **LOWENSTEIN HABER** MARÍA ELENA **BASTARRICA**

FULCRO Y TORSIÓN DEL MIOCARDIO HELICOIDAL



FULCRO

Editorial Biblos

FULCRO Y TORSIÓN DEL MIOCARDIO HELICOIDAL

Los autores de este libro ya nos habían deleitado en un espléndido texto hace tres años. La lectura de esta nueva investigación es un disfrute que exige la atención continua. Concentración en la lectura para ir engarzando las piezas de ese rompecabezas, que al final del libro se muestra limpio, claro y demostrativo.

En la primera proposición del libro se estudia la anatomía e histología del miocardio, que determinan un músculo continuo, espiralado, una pieza íntegra que para cumplir su función muscular necesita de un punto de apoyo, el *fulcro cardíaco*. El miocardio se inserta en sus extremos inicial y final en este núcleo con estructura tendinosa, cartilaginosa, incluso ósea, según la especie analizada, que se localiza por debajo y delante de la aorta. En esta parte, espléndidamente documentada, hay además una importante aportación como es la que dentro del mecanismo de contracción cardíaca existe una defricción entre las capas musculares.

Luego, los autores analizan la difusión de los estímulos en el miocardio, la que tiene un patrón que corresponde a

la disposición topográfica de los haces musculares, la dirección de sus fibras musculares y su mecánica de movimientos. Más adelante, desgranan una serie de estudios e investigaciones personales que definen y clarifican la mecánica cardíaca de tres tiempos con la conceptualización de la base científica de la fase de succión, proceso activo que explican como nunca se había hecho, siendo capaces de integrar la hidráulica y la física, disciplinas no siempre incorporadas adecuadamente para la evaluación de la mecánica cardíaca y la definición de la bomba mecánica de succión.

Finalmente, se presentan los vertiginosos cambios producidos en las técnicas de imagen cardíaca que van a posibilitar la utilización de estas para la comprensión de la estructura tridimensional miocárdica y su acople con los nuevos conceptos fisiológicos de la mecánica cardíaca.

Nos encontramos ante un texto único, diferente, provocador. Es una obra que exigirá de su atención al ciento por ciento, para ir sorteando los nuevos caminos que se abren ante nuestros ojos con investigaciones y propuestas originales en la frontera de lo desconocido.

—Prof. Miguel Angel García Fernández

Catedrático de Medicina-Imagen Cardiaca, Facultad de Medicina, Universidad Complutense de Madrid.

El verdadero secreto de la mecánica cardíaca se encuentra en lo más profundo del miocardio. El músculo cardíaco a simple vista no muestra su tesoro más oculto. Solo con una

disección adecuada el misterio se devela y el fulcro cardíaco surge de entre las fibras musculares. Una pieza anatómica condroide que une al miocardio continuo en sus extremos. Un soporte que permite realizar los movimientos de torsión/detorsión. Un punto de apoyo con funcionalidad de palanca que necesita todo músculo. Este miocardio con estructura helicoidal explica gran parte de la fisiopatología cardíaca. El comienzo de este misterio llevó a ahondar por caminos más complejos y evaluar un corazón de tres tiempos con una etapa intermedia entre sístole y diástole, la fase de succión.

Misterios ocultos, intrigas que se revelan ante tantos años de una anatomía cardíaca clásica, hipótesis factibles y nuevos conceptos para pensar se hallan en la mira bajo la lupa de esta indagación científica. Las preguntas que se presentaron en esta investigación fueron resueltas a lo largo de las páginas de manera detallada y explicativa con diversos estudios realizados. Otras incógnitas fueron disipadas desde diferentes ópticas, de manera conjunta e interdisciplinaria. Ha sido necesario incorporar conocimientos no estrictamente médicos para la compleja comprensión de los mecanismos implicados, los que no podían ser revelados desde una única disciplina.

Nunca imaginamos que el inicio de esta investigación iba a causar incertidumbre y curiosidad. Nada más apasionante es exponer trabajos para ser evaluados y discutidos en conjunto. Los pensamientos nuevos se gestan desde la mirada crítica y complementaria, desde lo posible

y lo real. Muchas veces desde lo simple es donde se construye, pero la responsabilidad se encuentra en compartirlo para permitir un crecimiento conjunto. Esta investigación ha tenido un solo objetivo principal: permitir una hipótesis con una mirada nueva que pueda llegar a contribuir a la estructura-función cardíaca y resolver patologías. *Fulcro y torsión del miocardio helicoidal* los invita a pensar el órgano cardíaco en carácter de una verdadera bomba hidráulica.

JORGE C. TRAININI - JORGE A. LOWENSTEIN -
MARIO BERAUDO - VICENTE MORA LLABATA -
FRANCESC CARRERAS-COSTA - JESÚS VALLE
CABEZAS - MARIO WERNICKE - BENJAMÍN D.
ELENCEWAJG - ALEJANDRO TRAININI - DIEGO
LOWENSTEIN - MARÍA ELENA BASTARRICA

FULCRO Y TORSIÓN DEL MIOCARDIO HELICOIDAL

Editorial Biblos

Índice

Cubierta

Acerca de este libro

Portada

Abreviaturas

Prólogo, Miguel Angel García Fernández

Prefacio

Hipótesis de investigación

Proposición 1. Soporte y anatomía funcional del corazón:
el miocardio helicoidal

1. Aspectos filogenéticos del aparato circulatorio
2. Miocardio continuo
3. Arquitectura del miocardio
4. Topografía del miocardio continuo
5. Disección anatómica del miocardio
6. Pared libre de los ventrículos
7. El mecanismo de fricción en la torsión-detorsión miocárdica
8. Proposición 1: resumen

Proposición 2. Investigación sobre la propagación
eléctrica del miocardio

1. Conceptos históricos y analógicos acerca de la activación eléctrica del miocardio
2. Investigación de la activación eléctrica cardíaca mediante cartografía 3D
3. Propagación del estímulo y torsión ventricular izquierda
4. Correlación electrocardiográfica

5. Proposición 2: resumen

Proposición 3. Cardiodinámica helicoidal: bomba de succión

1. Mecánica cardíaca
2. Cronología de las ideas del mecanismo de succión ventricular
3. Fase de succión activa protodiastólica
4. Presión intraventricular negativa y mecanismo de succión
5. Investigación experimental de la succión ventricular izquierda
6. Investigación electrofisiológica sobre la succión cardíaca
7. Energía cardíaca
8. Congestión
Índice de energía cardíaca de expulsión y succión
9. Consideraciones sobre un modelo clínico de contención ventricular mecánica
10. Vórtice intraventricular
11. Proposición 3: resumen

Proposición 4. Aportes de la ecocardiografía y de la resonancia magnética cardíaca al estudio del corazón helicoidal

1. Ecocardiografía de la torsión miocárdica
2. Resonancia magnética cardíaca
3. Proposición 4: resumen

Conclusiones

Bibliografía

Los autores

Créditos

Abreviaturas

CMPD: cardiomioplastia dinámica

FASPD: fase activa de succión protodiastólica

FC: frecuencia cardíaca

FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo

FH: fuerzas hemodinámicas

IC: índice cardíaco

IS: índice sistólico

ITSVD: índice trabajo sistólico ventricular derecho

ITSVI: índice trabajo sistólico ventricular izquierdo

MET: mapeo electroanatómico tridimensional

NS: no significativo

PAD: presión de aurícula derecha

PAM: presión arterial media

PAP: presión de arteria pulmonar

PCP: presión capilar pulmonar

RMC: resonancia magnética cardíaca

RVP: Resistencia vascular pulmonar

RVS: Resistencia vascular sistémica

SC: superficie corporal

SA: segmento ascendente

SD: segmento descendente

VD: ventrículo derecho

VI: ventrículo izquierdo

VMC: volumen minuto cardíaco

Prólogo

Miguel Angel García Fernández

Catedrático de Medicina-Imagen Cardíaca. Facultad de Medicina, Departamento de Medicina, Universidad Complutense de Madrid, España.

Jorge Trainini da un paso adelante y de nuevo nos sorprende con su libro *Fulcro y torsión del miocardio helicoidal*, que ahora el lector tiene en sus manos y que bien pudiera llevar el subtítulo *Más allá del maestro Torrent...* y eso no es poco.

Como es historia bien conocida, Francisco Torrent Guasp, con sus míticas y originales disecciones del corazón, revolucionó la anatomía y la mecánica cardíaca clásica que llevaba en nuestros libros por más de 250 años. En una simple definición de su ciclópeo trabajo, el miocardio ventricular estaba formado por un conjunto de fibras musculares que se disponían en el espacio, como una cuerda aplanada lateralmente a manera de una banda, que delimitaba las dos cámaras ventriculares y definía su funcionalidad. Todos sus estudios confluían en una gran aportación revolucionaria: *la succión diastólica como*

proceso activo, por la contracción del segmento ascendente de la banda miocárdica.

Sin duda uno de los máximos conocedores de la teoría del maestro Torrent Guasp es el también maestro Trainini, quien ya nos había deleitado en un espléndido libro elaborado hace tres años y dirigiendo a un grupo de expertos, *Torsión miocárdica: investigación anatomofuncional*, donde llevó a cabo el más completo texto que se había realizado hasta la fecha sobre la anatomía y función cardíaca a las “luces de Torrent”. Ese texto anterior venía a responder y a ordenar las respuestas a una larga serie de interrogantes que surgían cuando se enfocaba la fisiología con la anatomía del maestro. El libro iba encajando, como un *puzzle* mágico, un gran surtido de piezas sueltas, que en conjunto daban solidez a las teorías de Torrent.

En este nuevo libro, Trainini y su grupo tratan de dar un paso adelante y hacen una serie de propuestas que vienen a completar la visión de la anatomía, la fisiología y la mecánica cardíaca de Torrent. La lectura de esta nueva investigación es un disfrute que exige la atención continua, para que nuestros “cajones neuronales” no se rebelen ante el esfuerzo que significa ir muchas veces a destruir lo que creemos sólidamente instalado en ellos. Concentración en la lectura para ir engarzando las piezas de ese rompecabezas, que al final del libro se muestra limpio, claro y demostrativo. El texto debe leerse despacio; nunca fue fácil caminar en los terrenos de pantanosos límites, y

como en la ascensión a la cima de una difícil montaña, parar de vez en cuando para tomar aliento y disfrutar de la vista según vamos llegando a la cumbre, desde donde veremos el panorama final de la nueva visión propuesta. Será cuando seamos conscientes de que mereció la pena el esfuerzo.

El libro se desgrana en cuatro grandes apartados o “proposiciones”, que van configurando las aportaciones de Trainini y colaboradores y uniéndose como las piezas de un rompecabezas que van perfilando la idea final.

En primer lugar, la proposición 1, “Soporte y anatomía funcional del corazón: el miocardio helicoidal”, constituye para mí la parte fundamental de este libro. El estudio de la anatomía e histología del miocardio determina un músculo continuo, espiralado; una pieza íntegra que para cumplir su función muscular necesita de un punto de apoyo, el *fulcro cardíaco*. El miocardio se inserta en sus extremos inicial y final en este núcleo con estructura tendinosa, cartilaginosa, incluso ósea, según la especie analizada, que se localiza por debajo y delante de la aorta. Aunque este *os cordis* se había mencionado en veterinaria, es la primera descripción no solo de su presencia en el corazón humano, sino -y lo que es más importante- el asignarle una función fisiológica que significa un cambio importante en la comprensión de la anatomofisiología de Torrent, y que justifica por sí solo la elaboración de este libro. Un fulcro cardíaco, un punto de apoyo, un punto de encuentro entre el segmento ascendente y el segmento derecho de este músculo

cardíaco, que son el origen y final de la estructura miocárdica. La importancia de esa idea es suplementar al maestro Torrent que consideraba que el miocardio no tenía un punto fijo de apoyo, como los que adoptan otros sistemas musculares para con su contracción y cumplir su función de fuerza. En esta primera proposición, espléndidamente documentada, existe además una importante aportación como es la que dentro del mecanismo de contracción cardíaca existe una fricción entre las capas musculares. Esta fricción se genera por el movimiento opuesto de los segmentos ascendente y descendente, como de este último segmento friccionando contra la zona septal de la banda miocárdica, lo cual exige un sistema lubricante de antifricción que el autor centra en las estructuras lacunares entre los haces musculares, junto a los conductos venosos de Thebesius y Langer. Así se llega al hallazgo del ácido hialurónico intramiocárdico como “aceite lubricante”. Sin este mecanismo nuevo de antifricción la contracción del miocardio sería prácticamente imposible por la gran disipación de energía.

Personalmente me parece que esta primera proposición es el real nudo gordiano de la propuesta científica y el avance en el *puzzle* del funcionamiento cardíaco que propone Trainini: un músculo continuo que necesita un punto de apoyo y la necesidad de contar con un mecanismo antifricción, una tríada conceptual revolucionaria.

En segundo lugar, en la proposición 2, “Investigación sobre la propagación eléctrica del corazón”, los autores

analizan la secuencia de la activación eléctrica endocárdica y epicárdica del ventrículo izquierdo mediante el mapeo electroanatómico tridimensional con un sistema de navegación y mapeo Carto, lo que les permite una representación anatómica tridimensional con mapas de activación y propagación eléctrica. La difusión de los estímulos en el miocardio tiene un patrón que corresponde a la disposición topográfica de los haces musculares, la dirección de sus fibras musculares y su mecánica de movimientos que permiten una correlación con la propagación eléctrica y la funcionalidad correspondiente.

En la proposición 3, “Cardiodinámica helicoidal: bomba de succión”, los autores se centran en la fisiología y comprensión del mecanismo de succión, que se explica por la propuesta del maestro Torrent sobre la persistencia de la contracción del segmento ascendente durante el inicio de la fase activa protodiastólica. Los autores van desgranando una serie de estudios e investigaciones personales que definen y clarifican la mecánica cardíaca de tres tiempos con la conceptualización de la base científica de la fase de succión, proceso activo que explican los autores como nunca se había hecho, siendo capaces de integrar la hidráulica y la física, disciplinas no siempre incorporadas adecuadamente para la evaluación de la mecánica cardíaca y la definición de la bomba mecánica de succión.

Los autores insisten en un tema fundamental como es la importancia de entender que este mecanismo activo de succión y su integración con la mecánica sístole/diástole

pueden ser básicos para enfocar nuevas técnicas quirúrgicas y opciones terapéuticas.

La última parte del libro es la proposición 4, “Aportes de la ecocardiografía y de la resonancia magnética cardíaca al estudio del corazón helicoidal”. Sin duda los vertiginosos cambios producidos en las técnicas de imagen cardíaca van a posibilitar la utilización de estas para la comprensión de la estructura tridimensional miocárdica y su acople con los nuevos conceptos fisiológicos de la mecánica cardíaca. Los estudios de la deformación con *speckle-tracking* que apoyan la disposición anatómica, la incorporación de las nuevas técnicas cada vez mas introducidas en la práctica, aunque todavía con dudas en su uso, como el *feature tracking* y el *fast SENC*, y la utilización de la resonancia cardíaca por tensor difusión con el análisis tractográfico de las fibras cardíacas constituyen un claro avance para comprender los movimientos del corazón y su patología.

Todas estas herramientas, entre las que, en mi opinión, se destaca el análisis de la deformación torsión-detorsión miocárdica, son puestas a disposición en apoyo científico de la “nueva mecánica cardíaca” para visualizar, complementar y corroborar, con otro enfoque más dinámico, los revolucionarios cambios de interpretación propuestos y desgranados a lo largo de las proposiciones de este texto.

No lo duden, están ustedes de nuevo ante un libro diferente en su manera de presentación y la forma de implementar la información recabada a través de la

investigación. Nos encontramos ante un libro único, diferente, provocador. Es una obra que exigirá su atención al cien por ciento, para ir sorteando los nuevos caminos que se abren ante nuestros ojos con investigaciones y propuestas originales en la frontera de lo desconocido. Su lectura no dejará a nadie indiferente y eso es algo que muy pocos libros lo pueden conseguir.

No se precipiten, siéntense con mente abierta, intodúzcanse en el laberinto y disfruten de un nuevo mundo de la visión de la mecánica y fisiología cardíaca.

Madrid, enero de 2022.

Prefacio

Salimos de la quietud de la orilla para adentrarnos en el torbellino del río del conocimiento. Nos unimos a los intentos de quienes desde hacía cuatro siglos ansiaron ver más allá de la estructura y función establecida del corazón. Algunos habían pasado hacía muchos años por esas aguas, otros empeños eran más recientes, pero todos quedaron ciertamente en la incertidumbre. El viejo dogma del corazón que “se cierra y abre como un puño” perduró sin permitir rasgaduras. Nosotros pertenecíamos a otra época. Al llegar después, contábamos con otros pertrechos, pero sobre todo tuvimos la fe religiosa de la ciencia, la duda del escéptico, la tenacidad del necesitado y la fuerza por saber adónde iba ese torrente que se había llevado hacia la desmemoria los viejos propósitos sobre la estructura y organización del corazón.

Nos fuimos reuniendo desde diversos sitios guiados por el extraño rito que tiene la ciencia, el de ir desde el misterio a la comprensión, la que nunca es total ni infalible, pero que deja al conocimiento más claro y posible. Abierto a la certeza e imaginación. A un nuevo nivel de abstracción. Ingresamos a la hipótesis de *Fulcro y torsión del miocardio helicoidal*; algunos llegaron precozmente; otros, después.

No fue por azar. Fue por la exigencia de completar el saber desde todos los ángulos obligados. Intentamos avanzar en comunión con los sitios de la geografía terrestre que aceptaron el reto. Nunca cesó esta ambición. El primer ingreso a sus aguas pareció temerario. Estacionados en esa corriente interminable del río de Heráclito no nos dejamos avasallar por la persistencia de sus aguas ni por la desesperanza. Nos espantaba no hacer frente al desafío de entender cómo se hallaba organizado y cuáles eran los movimientos de ese órgano que a las tres semanas de la concepción inicia su latido interminable hasta devolver al ser al misterio. Se sucedieron las investigaciones y los años. Siempre apelamos al esfuerzo; la ciencia no concibe ideas primigenias sin denuedo. Hay que someterse a pruebas de lealtad y honradez, de falsabilidad. El científico que hace trampa se suicida. Se sucedieron los impulsos, luego las comunicaciones a los centros del saber. Regresamos muchas veces a la revisión, al avance y a las dudas. Hemos llorado en demasiados momentos. La naturaleza no revela su inteligibilidad en forma espontánea. Parece compleja en lo previo, pero se vuelve sencilla por lo lógico, siempre que se le dedique el alma y el tiempo. Así se avanza.

Pasó demasiado tiempo para nuestras vidas, no para la indiferente corriente del río que nos llevaba, el que simulaba ser el mismo que nos había recogido. Fuimos mudando las primitivas ideas. Descubriendolas como las hojas superpuestas, unas tras otras. El tiempo se sucedió

inclemente. Desde el centro del río durante muchos momentos no notamos esa consunción sobre nuestras vidas. Perseverantes, apelamos a otra tanda de científicos más jóvenes para sumarse a la tarea. Nunca nos rendimos porque jamás dimos por terminada la obra. Hoy podemos ofrecer lo logrado. Siempre es hasta un momento al que se llega, pues todo fluye. La hipótesis de la estructura-función cardíaca lograda a través del ingreso a su intimidad miocárdica acaudala la pasión de cada uno de nosotros y, también, la de los que estuvieron antes en este río. En un momento asentamos: "El corazón es una ciudad majestuosa / de fronteras conocidas / con sus calles ocultas, misteriosas / e inexploradas". Haber simplificado al corazón de su aparente complejidad nos acercó al resto de la ciencia. A entender y hacer bella su comprensión, al decir de Niels Bohr, de cómo debía ser una teoría.

No nos quedamos en el interior del arte médico y sus propios postulados. Utilizamos lo traslacional que tiene la ciencia en su evolución actual. No más disciplinas aisladas, sino todas juntas. Comprendimos que una ciencia aislada no es una ciencia. Por eso, a pesar de provenir de diferentes técnicas, permanecimos unidos en todos estos años. Avanzamos junto a la movilidad de ese río que a veces se oscurecía y que en otras oportunidades era tan claro que reflejaba nuestras imágenes. A intervalos, parecía tan reticente a revelar los misterios que nos sumergíamos en su lobreguez. Nos dolió la muerte del compañero inicial de la misión, Jesús Herreros, y la inclemencia de los

acontecimientos sucedidos en otros. ¿Qué extraña motivación nos persiguió para no sucumbir? No lo sabemos. En todo hay azar y necesidad. Son instancias ocultas, inconscientes, pero guían. Es el rito de la ciencia para descubrir algún velo del misterio.

El tiempo fue el paso obligado. Nada se podría hacer con la espera. Intentamos que el conocimiento que avanzaba no se distanciara entre sus esfuerzos. La perseverancia es la madre de las victorias. Al fin de cuentas la energía es una escala de paquetes llamados cuantos. Con esta estrategia los peldaños se sucedieron con más frecuencia, pues los elementos recolectados en la investigación permitieron ir de lo inexplorado a la simplificación.

Esta investigación no ha tenido intención de ser calco de experiencias previas. Hemos avanzado sobre los rincones oscuros de la estructura-función del corazón. A medida que se iba incorporando el nuevo conocimiento adquirido se nos permitió construir un mapa en esos espacios vacíos. Fuimos comprendiendo que cada punto conceptual que se conseguía no era arbóreo, lineal, sino que el mismo hallazgo se iba interconectando en un todo, en un rizoma. Así es el corazón.

Durante el siglo XVIII el conocimiento se hallaba agrupado. Luego, con el progreso intelectual, se fue divorciando en fragmentos restringidos a las diferentes temáticas. Este proceso apartó a las ciencias de su carácter holístico, con resultados improcedentes al quedar cada dominio a merced de su propia entropía con menor

capacidad de ingreso energético del resto del conocimiento. En esta investigación, las distintas disciplinas volcadas a su fin hicieron coherente el conocimiento alcanzado, pues se necesita del entrelazamiento entre ellas, al igual que lo evidencia el universo. Fuimos más lejos. Al ser el corazón un órgano termodinámico que maneja un caudal sanguíneo, el rizoma fue más allá de lo médico. Avanzó sobre la física, la hidráulica y el cálculo. Así se logró un conocimiento en implexión, con sus entradas y salidas interconectadas, cruzadas. Si bien el calco de experiencias anteriores siempre iluminó el sentido de las nuestras, el límite de la organización alcanzada sobre el centro del pulso se amplió considerablemente. La pregunta surge incandescente: ¿qué finalidades podemos hallar con las ecuaciones en el marco del funcionamiento cardíaco? La instancia fue la esperanza de cohesionar todos los conocimientos parciales en una unificación de la estructura-función, relacionar las magnitudes del modelo con las observaciones. Creemos, que en este río del conocimiento la concepción del rizoma nos llevó a un mapa del corazón, que siempre se constituye en el eterno retorno al asombro de su dádiva.

Que haya disyuntivas y errores no va en contra de esta investigación. No es factible avanzar y explicar nuevas ideas sin correr el riesgo ni aun en las ciencias más exactas, mucho más en una fáctica como es la medicina que conlleva dolor y conciencia de un ser humano en su materia de análisis. Lo hemos asumido sin olvidar que el río del

conocimiento sigue corriendo, siempre para el día después. Hace mucho tiempo que estamos en medio de su cauce, lejos de la quietud que ofrecen sus orillas. Ahora, las lágrimas y aciertos que dimos son parte del río que se fueron con él. Tal vez podamos volver a la orilla mientras otros exploradores del conocimiento se adentren en las nuevas aguas que intentamos bautizar con dedicación y honra. Las que hoy empiezan a ser pasado.

Los autores

Hipótesis de investigación

La función del corazón es de una complejidad mecánica anisotrópica que debe ser indagada en los términos de su estructura. En el estudio de la anatomía miocárdica hallamos el principio de que su organización guarda relación estricta con la capacidad funcional. Esto nos llevó a investigaciones que explicasen su integridad morfológica y su mecánica. Si nos detenemos en las descripciones clásicas, vemos que la atención anatómica ventricular se prestó a sus superficies externa e interna sin profundizar en la conformación muscular intrínseca. Se determinó que su disposición forma dos cámaras ventriculares contiguas, delimitadas por un espesor muscular homogéneo, sólido, compacto y con una contracción global uniforme. No se tuvo en consideración que la capacidad funcional cardíaca exigía una reinterpretación de la organización espacial de las fibras miocárdicas y de su movimiento, lo cual lleva a introducirnos en otros tópicos del funcionamiento que fueron prácticamente soslayados por las investigaciones cardiológicas.

Una explicación para esta aparente uniformidad muscular de los ventrículos con una anatomía intrincada, que disimula la conformación helicoidal que presentan,

implica considerar que su estructura compacta se halla requerida en las aves y en los mamíferos para lograr que la sangre se eyecte a una velocidad alta, en un tiempo acotado, por un órgano que debe abastecer dos circulaciones (sistémica y pulmonar). Actualmente el miocardio helicoidal puede ser corroborado por la investigación anatómica a través de una disección adecuada que logra desplegarlo en toda su extensión y por otros procedimientos, a saber, la exploración histológica, las imágenes obtenidas con resonancia magnética cardíaca por tensor de difusión, el análisis ecocardiográfico con la técnica de *speckle tracking*, estudios electrofisiológicos llevados a cabo con el mapeo electroanatómico tridimensional e investigaciones de laboratorio. Todos estos procedimientos fueron utilizados para esta investigación.

La disección anatómica conduce a visibilizar la real anatomía interna del miocardio opuesto al concepto clásico, hallando una estructura helicoidal con planos definidos que permite los movimientos fisiológicos sucesivos y concatenados de estrechamiento, acortamiento-torsión, alargamiento-detorsión y ensanchamiento, dependientes de la propagación del estímulo eléctrico por sus trayectos musculares.

Este camino que lleva de estructura a función condujo a discernir e investigar sobre tópicos poco explicados de la mecánica cardíaca, los cuales deben ser considerados complementarios entre ellos y fundamentales para la fisiología, a saber:

1. La investigación anatómica e histológica sobre la continuidad segmentaria del miocardio. ¿Puede considerarse el miocardio un músculo continuo, único e integral?
2. La pregunta inevitable que surge es que, para retorcerse, los segmentos musculares que conforman las cavidades ventriculares deberían efectuarlo sobre un punto de apoyo al igual que un músculo esquelético lo hace en una inserción firme, ¿los hay en el corazón? Si es real este apoyo, ¿cómo se inserta el miocardio en dicha estructura? Este aspecto sobre un soporte miocárdico no es el único argumento a considerar, ya que la potencia cardíaca genera una fuerza capaz de eyectar el contenido ventricular a una velocidad de 200 cm/s a bajo gasto energético. Indudablemente, ante esta capacidad desarrollada, se hace necesario un amarre del miocardio a un punto de apoyo para lograr sus movimientos.
3. La torsión miocárdica constituye la solución funcional para eyectar el contenido hemático ventricular con la energía necesaria para conseguir irrigar la totalidad del organismo. De esta manera, la filogénesis de la morfología cardíaca tiene correspondencia con la mecánica ventricular, pero adolece de la comprensión de una propagación eléctrica por los trayectos musculares que expliquen con corrección sus movimientos. Los estudios emprendidos en este tópico apuntan a demostrar la integridad de una estructura-

función cardíaca de carácter imprescindible. El análisis de la activación eléctrica endo y epicárdica del ventrículo izquierdo mediante el mapeo electroanatómico tridimensional que realizamos en una serie de pacientes permitió abordar una pregunta trascendental para analizar: ¿cómo se produce la torsión miocárdica? Antes de responder a esta pregunta, es importante subrayar que, a lo largo de todo el contenido de la investigación, cuando hablamos de “torsión miocárdica”, hay que tener en cuenta que se halla referida a un material elástico y no compresible como es el miocardio. Ello implica que esta torsión, determinada por una rotación en direcciones opuestas de la base y el ápex cardíaco, lleva implícita un simultáneo acortamiento en sentido longitudinal. Aunque en la literatura se vienen utilizando indistintamente los términos “giro”, “torsión” y “retorcimiento”, no significan lo mismo, como se verá más adelante. “Torsión” es el término utilizado más frecuentemente para referirse al movimiento cardíaco, pero no debemos olvidar que el movimiento rotacional descripto para el miocardio viene acompañado de un simultáneo acortamiento longitudinal entre base y ápex.

4. El deslizamiento entre los segmentos miocárdicos, producido por la torsión-detorsión, implica que debe existir un mecanismo antifricción con el fin de evitar disipar la energía que emplea el corazón. ¿Hay una

histología determinada que explique este hecho? ¿Los conductillos venosos de Thebesius y Langer juegan algún papel en este mecanismo? ¿Existe un recurso lubricante orgánico?

5. La producción del vórtice intraventricular estudiado por ecocardiografía es consecuencia del movimiento de torsión y de la necesidad del impulso energético que necesita el fluido sanguíneo para eyectarse. A través de la teoría física de las estructuras disipativas, la que explica la organización de este torbellino intraventricular, se puede entender su dinámica de flujo.
6. Una fase de lleno cardíaco pasivo sería inviable por la pequeña diferencia de presión con la periferia. El llenado ventricular fue investigado como secundario a una generación de presión intraventricular negativa con gasto de energía durante la protodiástole. El alargamiento súbito de la distancia base-áplex del ventrículo izquierdo, luego de la fase de eyección, produciendo un efecto de succión por una acción similar al de una “ventosa”, ¿podría explicarse por la persistencia de la contracción del segmento ascendente durante los primeros 100 ms de la diástole? Esta mecánica ¿permite considerar a la succión durante la fase protodiastólica como un elemento imprescindible en la fisiología del aparato circulatorio, al ser el nexo de continuidad entre las circulaciones pulmonar y sistémica?

7. De acuerdo con los fundamentos esgrimidos, ¿debe considerarse en el corazón una fase de acople entre sístole y diástole en donde se produce la succión cardíaca?
8. En este ciclo cardíaco de “tres tiempos” (sístole, succión y diástole), ¿cómo actúa el gasto energético en la fase activa de succión? ¿Podría calcularse la energía cardíaca de expulsión y succión? ¿No debe ser considerada la fracción de eyeccción del ventrículo izquierdo como un índice precario en su confiabilidad? De acuerdo con estas consideraciones, ¿no sería más lógico hablar de energía cardíaca de expulsión como un parámetro que resume el potencial cardíaco y a la cual concurrirían variables que no son independientes?
9. A través del procedimiento de resincronización cardíaca ¿es factible conseguir con la estimulación en el lugar adecuado, de acuerdo con el recorrido del estímulo por los segmentos miocárdicos, restaurar la presión negativa para generar la succión ventricular izquierda?
10. ¿El conocimiento de esta estructura-función del corazón podría ser de importancia para procedimientos quirúrgicos de reducción y contención ventricular?

Los métodos utilizados en esta investigación para explicar la hipótesis de la integridad anatomofuncional del corazón fueron los siguientes:

1. La disección cardíaca en especímenes de bóvidos y humanos.
2. El análisis histológico e histoquímico de las muestras anatómicas.
3. La activación eléctrica endo y epicárdica del ventrículo izquierdo en seres humanos mediante el mapeo electroanatómico tridimensional.
4. La investigación fisiológica sobre la succión ventricular izquierda en experiencias en canes a quienes se les excluyó el ventrículo derecho.
5. La medición de la presión intraventricular izquierda en la terapéutica de resincronización ventricular.
6. La reinterpretación fisiopatológica en estudios experimentales y clínicos para la insuficiencia cardíaca (cirugía de *bypass* del ventrículo derecho, cardiomioplastias, técnicas de contención ventricular, resincronización cardíaca, asistencia mecánica univentricular, reconstrucción ventricular izquierda).
7. El análisis ecocardiográfico en carácter de corroboración de lo investigado y de la utilidad de estos conocimientos en la práctica clínica ya que esta técnica cuenta con la capacidad de aportar conocimiento no invasivo sobre el complejo mecanismo de contracción miocárdica.
8. Las secuencias de tensor de difusión por medio de la resonancia magnética cardíaca para identificar la orientación y deformación de las fibras miocárdicas.