

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

# Anatomía de los nodos cardíacos y del sistema de conducción específico auriculoventricular

Damián Sánchez-Quintana<sup>a</sup> y Siew Yen Ho<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Anatomía Humana. Facultad de Medicina. Universidad de Extremadura. Badajoz. España. <sup>b</sup>Cardiac Morphology. National Heart and Lung Institute. Imperial College and Royal Brompton & Harefield NHS Trust. Londres. Reino Unido.

Al mismo tiempo que se han desarrollado las técnicas de ablación mediante catéter para el tratamiento de las arritmias, se ha producido un gran interés por la disposición anatómica del sistema de conducción cardíaco. La descripción morfológica de los nodos cardíacos y del sistema de conducción específico comenzó hace aproximadamente 100 años. Desde entonces ha sido un tema polémico, posiblemente debido al conocimiento poco preciso de las definiciones histológicas que los primeros investigadores hicieron sobre este sistema. Los componentes y la estructura del sistema de conducción en el hombre son comparables a los encontrados en los animales utilizados normalmente en el laboratorio. El sistema de conducción está compuesto de miocitos especializados. Su componente auricular, el nodo sinoauricular y el auriculoventricular, están en contacto con el miocardio auricular. Penetrando el triángulo fibroso derecho se encuentra el haz de His, que posteriormente se divide en 2 haces (ramas derecha e izquierda del haz de His) que también se encuentran rodeados por una envoltura de tejido conectivo que los aísla del miocardio ventricular de trabajo. Sólo las ramificaciones más distales de estos haces ventriculares, donde desaparece la envoltura conectiva, permiten un contacto directo con el miocardio de trabajo. El conocimiento del miocardio especializado puede ayudarnos en el desarrollo de terapias potenciales para algunas formas de arritmias cardíacas.

**Palabras clave:** Ablación con catéter. Nodo sinoauricular. Nodo auriculoventricular. Haz de His. Miocardio.

## Anatomy of Cardiac Nodes and Atrioventricular Specialized Conduction System

Concomitant with the development of catheter ablation techniques for the treatment of atrial arrhythmias, there has been renewed interest in the morphologic arrangement of the cardiac conduction system. The first descriptions of the anatomy of the nodes and atrioventricular conduction system appeared nearly 100 years ago. Since then the subject has been controversial, possibly because of the early researchers' imprecise knowledge of histology. The components and structure of the specific conduction system in humans are similar to those found in commonly used laboratory animals. The conduction system is composed of specialized myocytes. Its atrial components, the sinus node and the atrioventricular node, are in contact with atrial myocardium. The His bundle penetrates the right fibrous trigone, then divides into two specialized ventricular bundle branches (right and left), which also are surrounded by a fibrous sheath that separates the specialized myocytes from the ordinary myocardium. Only at the distal ramifications of the bundle branches do the fibrous sheaths disappear, allowing continuity with the ventricular myocardium. Knowledge of the specialized myocardium can help in the development of potentially useful therapies for some forms of cardiac arrhythmia.

**Key words:** Catheter ablation. Sinoatrial node. Atrioventricular node. His bundle. Myocardium.

Full English text available at: [www.revespcardiol.org](http://www.revespcardiol.org)

## INTRODUCCIÓN

Los estudios clásicos de Stannius<sup>1</sup> en 1852 fueron los primeros que propusieron que la conducción cardíaca era de tipo miogénico. Hace aproximadamente un siglo que se demostró que un tejido muscular especializado era el responsable de la iniciación y diseminación del latido cardíaco.

En 1906, Sunao Tawara<sup>2</sup> clarificó la existencia de un haz descrito por His<sup>3</sup> en 1893, y Keith y Flack<sup>4</sup>, en el mismo año que Tawara, confirmaron la existencia del sistema His-Tawara y, además, un año después describieron la estructura del nodo sinoauricular (SA)<sup>5</sup>.

Aunque Purkinje<sup>6</sup> fue el primer autor en describir fibras ventriculares especializadas, no fue consciente de su relevancia en la estructura del corazón, y fue Tawara<sup>2</sup> quien puso de relieve que el haz descrito por His se continuaba con las fibras ventriculares de Purkinje<sup>6</sup>. Los estudios de Tawara se han traducido re-

Correspondencia: Dr. D. Sánchez-Quintana. Departamento de Anatomía Humana. Facultad de Medicina. Avda. Elvas, s/n. 06071 Badajoz. España. Correo electrónico: [damians@unex.es](mailto:damians@unex.es)

cientemente al inglés<sup>7</sup>, aunque la primera traducción al inglés de parte del trabajo de Tawara la realizó Robb<sup>8</sup> en su libro de texto de 1965. Estos trabajos son de lectura fundamental para todos aquellos investigadores que quieran dedicarse al estudio del sistema de conducción (SC).

### Componentes del sistema específico de conducción auriculoventricular

El primer haz muscular especializado que conecta las aurículas con los ventrículos lo describió His<sup>3</sup> como «haz penetrante». Sin embargo, His no observó histológicamente la continuación de este haz en la aurícula derecha con el nodo auriculoventricular (AV), ni en los ventrículos, con las células ventriculares de Purkinje. Fue Tawara<sup>2</sup> quien lo identificó mientras realizaba su tesis doctoral bajo la dirección de Aschoff. Previamente, en 1893, tanto Kent<sup>9</sup> como His<sup>3</sup> describieron conexiones musculares AV que durante años fueron fuente de una continua confusión<sup>10</sup>. Con posterioridad se observó que estas conexiones no se localizaban en el corazón sano, pero sí en el patológico. A raíz de los hallazgos de Kent y His, tanto cardiólogos clínicos como fisiólogos buscaron la estructura responsable de generar el impulso cardíaco. Se sospechaba que esta estructura se situaba en el área de unión entre la vena cava superior y la aurícula derecha, pues en condiciones experimentales esta zona era la última parte del corazón que cesaba de latir, el llamado «*ultimum moriens*». En 1907, Keith y Flack<sup>5</sup> fueron capaces de distinguir el nodo SA en todos los mamíferos que estudiaron, incluido el hombre, y sus células se consideraron el inicio de la excitación cardíaca.

El SC comienza en el nodo SA, localizado en la parte superior y anterior de la aurícula derecha (fig. 1). Situado en la parte inferior y posterior de la aurícula derecha se encuentra el nodo AV. El SC se extiende desde el nodo AV al haz penetrante de His; después, éste se divide en ramas derecha e izquierda, las cuales descienden por el tabique interventricular envueltas en una lámina de tejido conectivo y aisladas del tejido muscular de trabajo circundante. Posteriormente se continúan en el interior del miocardio con la llamada red de Purkinje (fig. 1).

### Áreas de interés morfológico-macroscópico

Las áreas macroscópicas de interés que nos ayudan a localizar el SC específico son:

- El nodo SA posee una localización subepicárdica (fig. 2a) y se sitúa a modo de cuña en la unión entre la musculatura de la vena cava superior con la de la orejuela derecha, y cuya base se opone a la cresta terminal. La distancia entre el nodo SA y el epicardio es de  $0,3 \pm 0,1$  mm<sup>11</sup>. En un 10% de los individuos, el nodo no se prolonga hacia la cava inferior, sino que posee

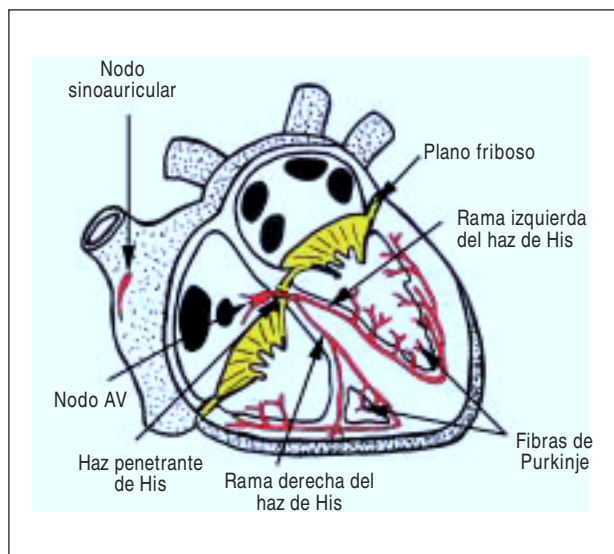


Fig. 1. Representación esquemática del sistema de conducción cardíaco (en rojo). El haz penetrante de His perfora el plano fibroso auriculoventricular (AV).

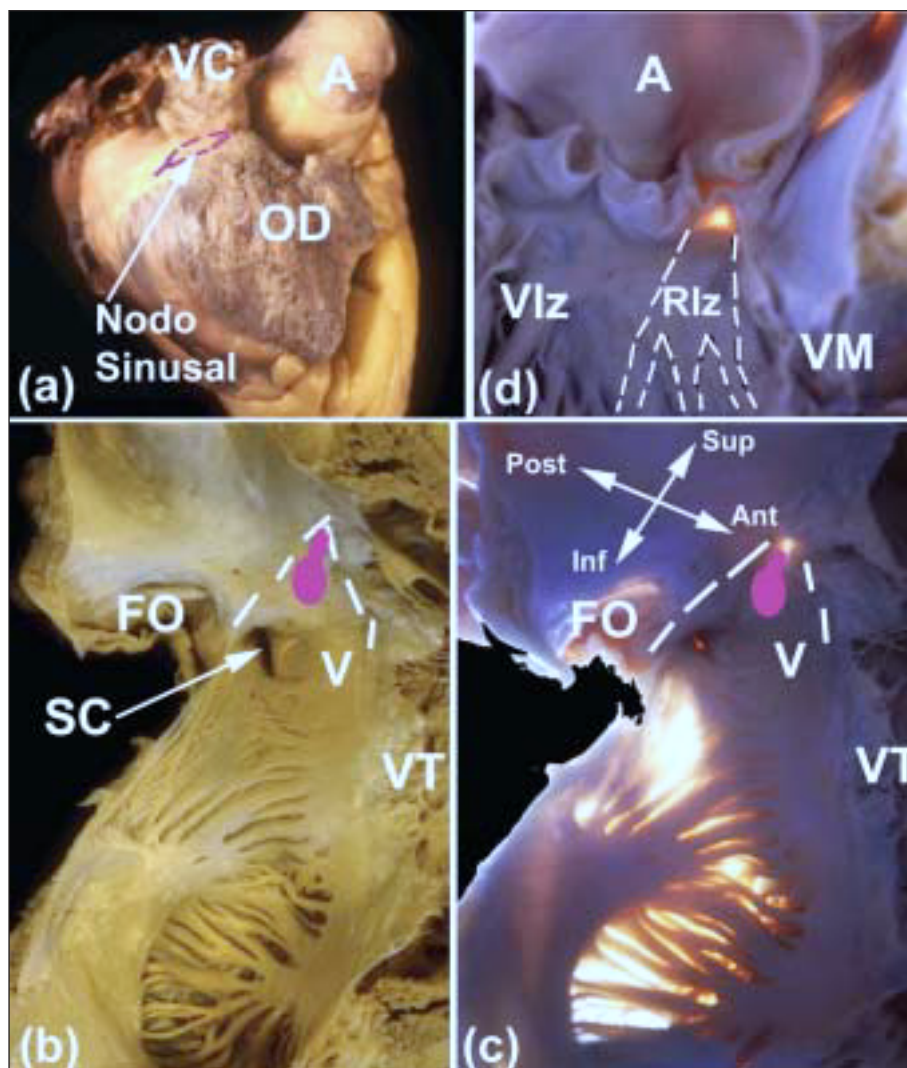
una forma de herradura alrededor de la parte anterior del orificio de la vena cava superior<sup>12</sup>.

- El nodo AV se encuentra en la base del tabique interauricular, en el ápex de un área triangular que Koch<sup>13</sup> ilustró por primera vez. Este triángulo se sitúa sobre la superficie endocárdica de la aurícula derecha (fig. 2 b y c) y se encuentra delimitado anteriormente por la inserción del velo septal de la válvula tricúspide y posteriormente por un tendón fibroso conocido como tendón de Todaro. Este tendón es la continuación fibrosa subendocárdica de la válvula de Eustaquio, que se introduce en la musculatura auricular que separa el orificio del seno coronario de la fosa oval. El ápex del triángulo se sitúa superiormente, en la zona de intersección de los bordes anterior y posterior, lo que se corresponde con el cuerpo fibroso central (CFC) del corazón. La base del triángulo está formada por el orificio del seno coronario y, además, el vestíbulo de la aurícula derecha, que sirve de inserción al velo septal de la válvula tricúspide. La base es conocida por los electrofisiólogos como «*istmo septal*», y es el lugar donde se realiza la ablación mediante radiofrecuencia de la vía lenta en pacientes con taquicardia por reentrada nodal AV<sup>14</sup>.

Con el nodo localizado en el ápex del triángulo de Koch, la continuidad de la conducción AV es el haz penetrante de His, que es la única parte del eje de conducción que perfora el CFC. El CFC está constituido por la unión del tejido conectivo de los velos valvulares aórtico y mitral con el velo septal de la válvula tricúspide, lo que se denomina triángulo fibroso derecho, con la porción membranosa del tabique interventricular. En muchos corazones de mamíferos, el triángulo es fibroso, pero en el corazón de los bovinos posee una

**Fig. 2.** a: visión epicárdica lateral de la aurícula derecha, donde hemos representado la localización del nodo sinusal (línea discontinua rosada). b y c: visión endocárdica normal y por transiluminación de las paredes posterior y septal de la aurícula derecha, para mostrar la fosa oval (FO) y los límites del triángulo de Koch (líneas discontinuas blancas): tendón de Todaro (TT) e inserción del velo septal de la válvula tricúspide (VT). El vestíbulo (V) de la aurícula derecha y el orificio del seno coronario (SC) forman el límite inferior. La localización del nodo auriculoventricular (AV) ha sido representada mediante un nódulo ovalado de color rosado. d: visión ventricular izquierda para mostrar el septo o tabique membranoso por transiluminación. Este septo es el punto de emergencia del haz de His y su continuidad con las ramas derecha e izquierda. La localización de la rama izquierda (Rlz) está marcada con líneas discontinuas blancas.

A: aorta; OD: orejuela derecha; VC: vena cava superior; VD: ventrículo derecho; Vlz: ventrículo izquierdo; VM: válvula mitral.

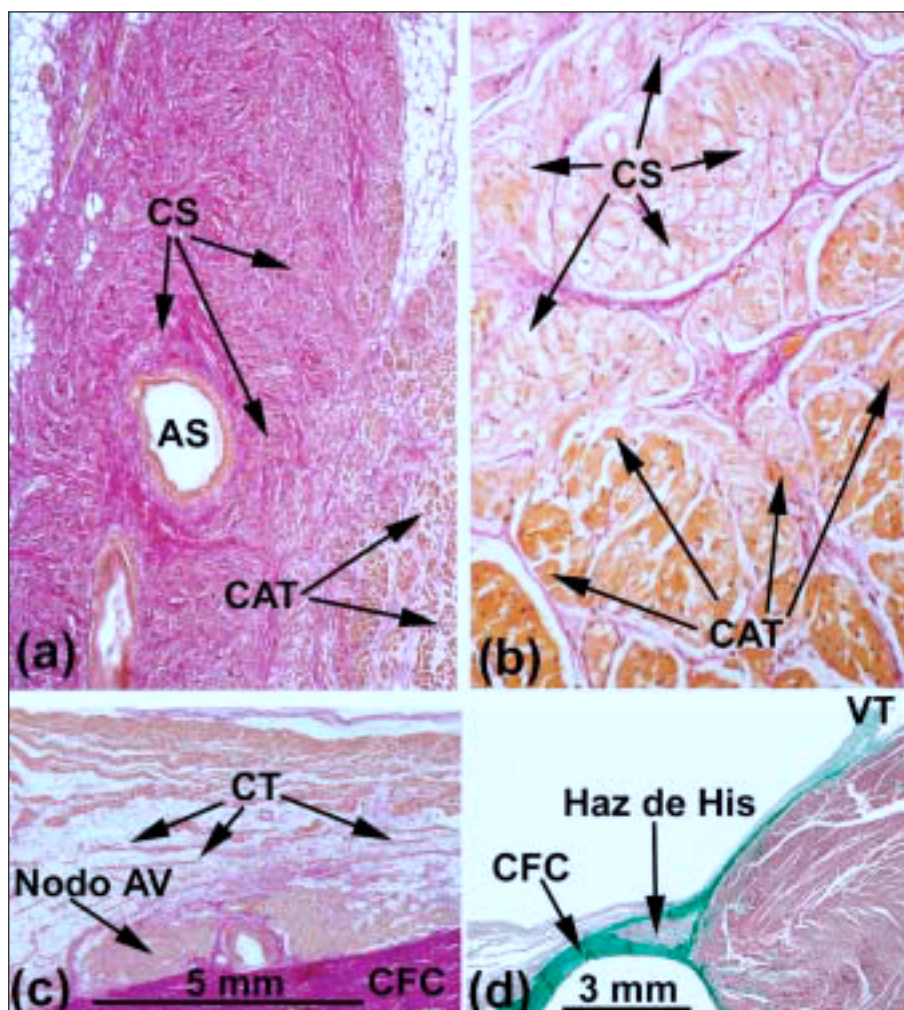


masa central de hueso o cartílago (el *os cordis*). En el cachalote, por el contrario, el tejido fibroso del CFC es muy laxo. La porción o septo membranoso, de mayor o menor longitud, es una buena guía para la localización del haz AV de His, el cual aparece sobre esta porción membranosa después de atravesar el trígono fibroso derecho (fig. 2d), dividiéndose en ramas derecha e izquierda. La rama derecha pasa a través de la musculatura del tabique a la base del músculo papilar medial del ventrículo derecho, después se convierte en una delgada cuerda que penetra en el espesor de la trabécula septomarginal o banda moderadora, que conecta el papilar medial con el anterior. El origen de la rama izquierda se encuentra por debajo de la comisura situada entre los velos derecho y no coronario de la válvula aórtica, después desciende por el subendocardio del tabique interventricular (fig. 2d); a veces, este recorrido es visible debido al brillo de la lámina fibrosa que lo envuelve. La porción proximal de la rama izquierda es mucho más extensa que la rama derecha.

Ocasionalmente, hay una tercera rama, denominada «tracto en punto muerto»<sup>15</sup>, que se observa en corazones fetales e infantiles; esta rama continúa el haz de His en sentido anterosuperior hacia la raíz de la aorta.

### Estructura de los nodos y del sistema de conducción auriculoventricular

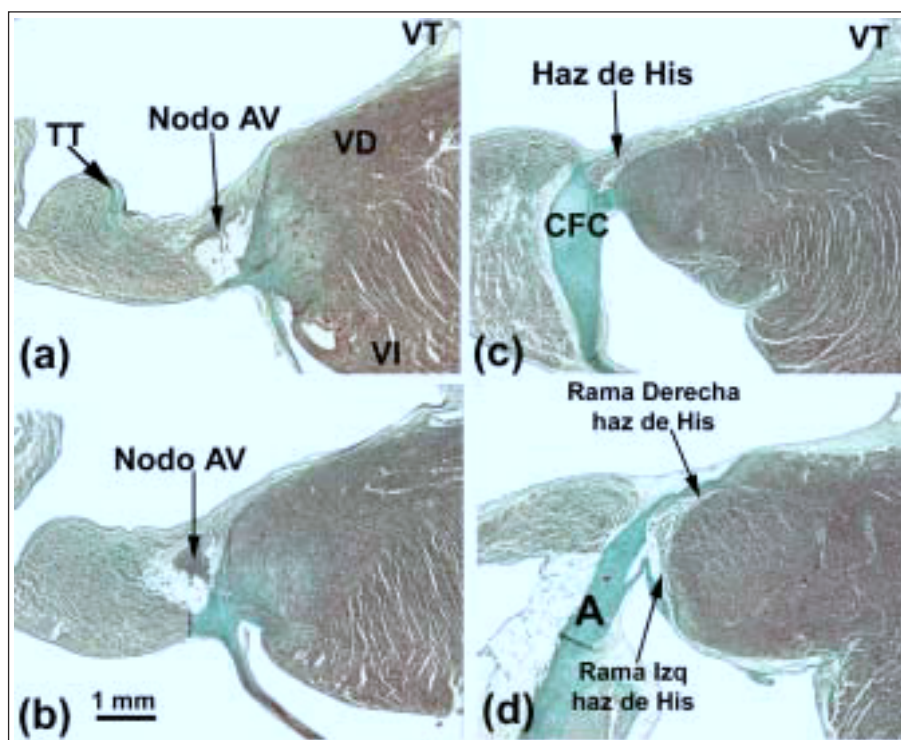
Los estudios en los que se han utilizado técnicas histológicas similares a las llevadas a cabo por Tawara<sup>2</sup> y posteriormente por otros investigadores, como Davies<sup>16</sup> y Truex et al<sup>17</sup>, por mencionar a unos pocos, han mostrado una disposición parecida del SC del hombre al de otros mamíferos, con ligeras variaciones de una especie a otra y de corazón a corazón. Las investigaciones de Tawara<sup>2</sup>, así como los criterios histológicos propuestos por Aschoff<sup>18</sup> y Mönckeberg<sup>19</sup> para el reconocimiento del miocardio especializado, se basan en que los miocitos especializados observados al microscopio óptico están separados de los miocitos de



**Fig. 3.** Secciones histológicas sagitales del nodo sinoauricular (SA) en el corazón humano (a; 10) y cerdo (b; 40) teñidas con el método de van Gieson. Nótese cómo las células sinusales (CS) están en contacto con las células auriculares de trabajo (CAT), y se caracterizan porque son más claras e inmersas en una mayor cantidad de tejido conectivo (color rojo). c: sección teñida con van Gieson en la zona media del triángulo de Koch. Nótese la forma del nodo compacto auriculoventricular (AV) y las células transicionales (CT) en contacto con la superficie convexa del nodo compacto. d: sección teñida con tricrómico de Masson que muestra el haz penetrante de His rodeado por tejido fibroso (color verde) del CFC. AS: arteria sinusal; CFC: cuerpo fibroso central; VT: válvula tricúspide.

trabajo o normales por una fina lámina de tejido conectivo, por lo que podemos seguir su curso de sección histológica en sección histológica. En su monografía, Robb<sup>8</sup>, al definir el tejido de conducción prefiere usar el término sistema «conector» a «conductor», pues la histología de las secciones define más la morfología celular que la función. Además, observó cambios en la textura del miocardio especializado dependiendo de si el tejido de autopsia es más o menos fresco, o del método de fijación y tinción empleados. Tawara<sup>2</sup> fue ya consciente de esto y señaló la heterogeneidad en la morfología de los miocitos especializados, incluso en secciones histológicas del mismo corazón. Dentro de una misma especie, los cambios más llamativos observados están relacionados con la edad del individuo<sup>20</sup>. En los últimos años se han utilizado diversos marcadores moleculares e inmunohistoquímicos para localizar el tejido de conducción en corazones embrionarios humanos y de otros mamíferos. Sin embargo, hasta el momento no se ha descubierto un marcador específico que delimite y defina este tejido en el hombre.

En el corazón humano normal, los nodos SA y AV no siguen los criterios de Aschoff<sup>18</sup> y Mönckeberg<sup>19</sup> en el sentido de que no están aislados eléctricamente mediante tejido conectivo o grasa del miocardio circundante, sino que están en contacto con las fibras auriculares de trabajo, con una pequeña zona de células de transición entre las dos. En el nodo SA, Keith y Flack<sup>5</sup> delinearon la diferencia entre una célula sinusal y una de trabajo. Sin embargo, en su monografía, Tawara<sup>2</sup> comentó las dificultades que tenía para diferenciar entre las células nodales AV de las del haz de His. Por ello, propuso que la distinción entre las dos fuera bajo una base puramente anatómica. Así, usando su definición denominamos «haz penetrante» o «haz de His» a la porción del SC que está revestida por completo por el CFC (fig. 3a). La porción auricular del sistema proximal al haz penetrante de His es el llamado nodo AV (fig. 3b). Esta distinción anatómica es completamente lógica, ya que el aislamiento al que se ve sometido el haz penetrante de His le impide el contacto directo con la actividad eléctrica aferente auricular, lo que significa que cualquier activi-



**Fig. 4.** Esta composición muestra el nodo auriculoventricular (AV), el haz de His y sus ramas derecha e izquierda en el corazón de conejo. La barra horizontal en b representa 1 mm y es igual para las 4 imágenes. Tinción tricrómico de Masson.

A: aorta; TT: tendón de Todaro; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo; VT: válvula tricúspide.

dad auricular ha de ser encauzada previamente vía nodo AV.

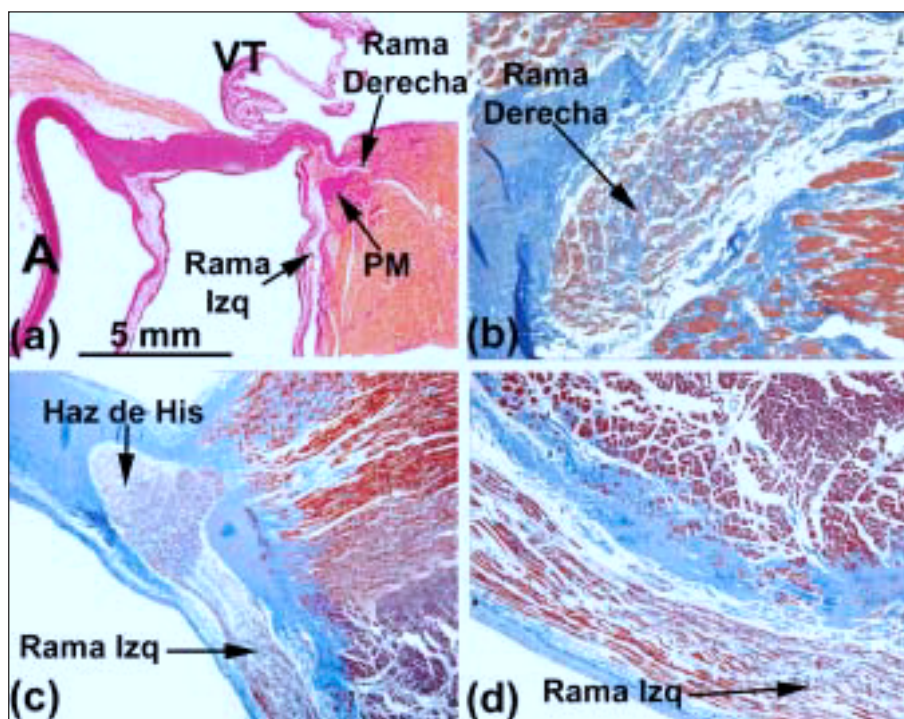
La función intrínseca del nodo SA es ser la fuente de donde emana el ritmo del corazón. El nodo sinusal en humanos es una estructura en forma de arco o fusiiforme. Histológicamente está constituido por células algo más pequeñas que las de trabajo normal, dispuestas en haces entremezclados sin ordenación espacial, débilmente teñidas e inmersas en una densa matriz de tejido conectivo (fig. 3 a y b). Con la edad aumenta la cantidad de tejido conectivo en relación con el área ocupada por las células nodales<sup>21</sup>. En la periferia del nodo, las células especializadas se entremezclan con las del miocardio de trabajo (fig. 3 a y b). Además, se han descrito digitaciones del nodo hacia el miocardio de trabajo que son como extensiones del nodo sinusal hacia el interior de la cresta terminal, vena cava superior e inferior<sup>22</sup>. El nodo sinusal se organiza en torno a una arteria, denominada arteria del nodo SA, que puede ser central o excéntrica en el interior del mismo. En el 29% de los corazones humanos la arteria se ramifica en el interior del nodo<sup>11</sup>. El nodo está íntimamente relacionado con nervios del sistema vegetativo autónomo. Se ha sugerido que la mayor parte de estas fibras son parasimpáticas; las fibras simpáticas están concentradas solamente alrededor de los vasos sanguíneos del nodo<sup>23</sup>.

La función inherente del nodo AV es retrasar el impulso cardíaco. En humanos, el nodo posee una porción compacta y una zona de células transicionales. La porción compacta posee una forma semioval apoyada

sobre el CFC (fig. 3c). En las secciones próximas a la base del triángulo de Koch, el nodo compacto se divide en 2 extensiones o prolongaciones; entre las dos se suele situar la arteria que vasculariza el nodo AV. La extensión en longitud de estas prolongaciones es variable de corazón a corazón<sup>24</sup>. Las células transicionales poseen un tamaño intermedio entre las del nodo AV y auriculares de trabajo, y están rodeadas de mayor cantidad de tejido conectivo que las de trabajo, pero no aisladas del miocardio adyacente, sino que constituyen una especie de puente entre el miocardio de trabajo y nodal, recogiendo la información eléctrica de las paredes auriculares, transmitiéndola al nodo AV.

Una cuestión polémica es el modo en que el impulso del nodo SA alcanza el nodo AV. Algunos autores han sugerido la existencia de «tractos especializados» entre ambos nodos<sup>25</sup>. Nuestros estudios no apoyan esta afirmación, sino que son las propias fibras musculares de trabajo y su disposición geométrica en el espesor de las paredes auriculares las responsables de que la conducción sea más rápida en unas áreas de la aurícula que en otras<sup>26</sup>.

El nodo AV se continúa distalmente con el haz penetrante de His (fig. 3d); existen ligeras diferencias en la disposición celular entre estas 2 estructuras. Las células del haz de His se alinean de forma más paralela. La explicación de este cambio puede ser morfológica, debido a que el haz comienza a ser rodeado por el tejido conectivo del CFC y se capacita como un tracto conductor, vehiculando la información a los ventrículos.



**Fig. 5.** a: sección teñida mediante el método de van Gieson que muestra la división del haz de His en el corazón humano sobre la porción membranosa (PM) del tabique interventricular. b: la rama derecha en este corazón humano en su inicio es intramiocárdica y está rodeada por tejido conectivo (color azul) (tricrómico de Jones, 20). c: la división del haz de His en este corazón está desplazada sobre el lado izquierdo de la cresta muscular del tabique interventricular y desciende longitudinalmente por debajo del endocardio del ventrículo izquierdo (tricrómico de Jones, 5). d: nótese la envoltura de tejido conectivo (color azul) de la rama izquierda (tricrómico de Jones, 10). A: aorta; E: endocardio; VT: válvula tricúspide.

El nodo AV en otros mamíferos, como por ejemplo el perro, se caracteriza porque es más pequeño que en el hombre, pero posee un haz penetrante más largo<sup>27</sup>. Por eso, hay autores<sup>28</sup> que han interpretado que el nodo AV del perro posee una porción dentro del CFC. Otros autores<sup>29</sup> describen en el corazón del conejo una parte del haz de His como si formara parte del nodo AV, lo cual es un error (fig. 4 a-d). La diferencia morfológica más llamativa entre el nodo AV de perro y el de conejo o el del hombre es que en el perro el nodo AV no está cubierto de células transicionales, pero sí de las de trabajo auricular. En el caso del ratón, cuyo corazón posee en reposo un ritmo cardíaco 10 veces superior al del hombre o el perro, posee un nodo AV proporcionalmente comparable al del perro, pero su CFC es más pequeño.

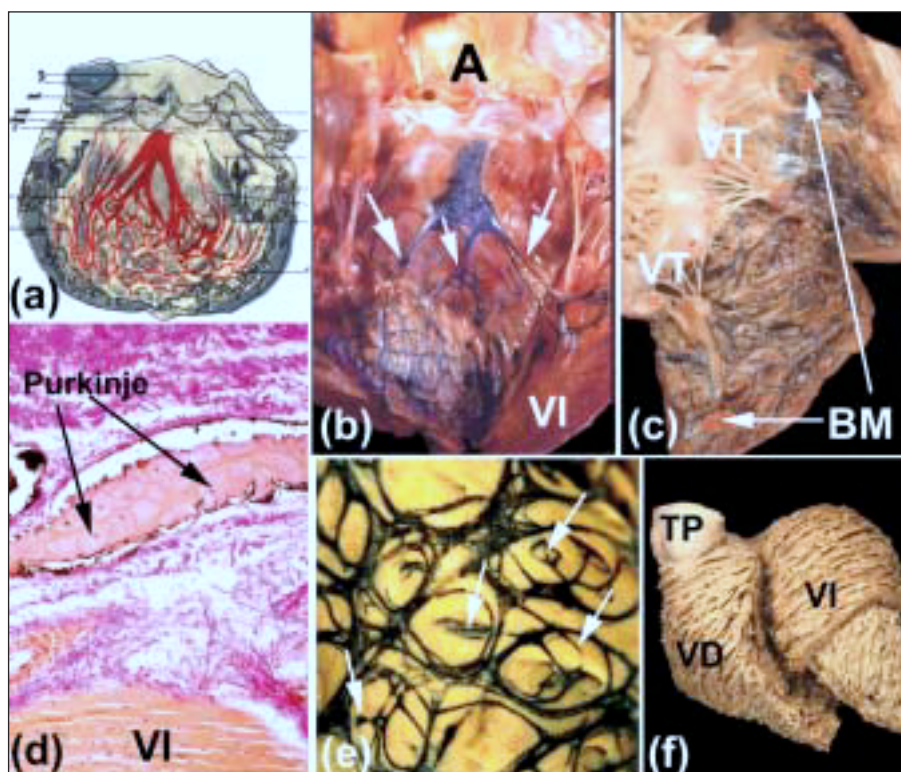
Cuando seguimos el trayecto histológico del sistema de conducción hacia el haz penetrante de His observamos que en muchos corazones humanos este haz gira hacia la izquierda, emergiendo sobre la cresta muscular del tabique interventricular. Rodeado de tejido conectivo del CFC, el haz de His posee un trayecto de una longitud variable antes de continuarse con las ramas derecha e izquierda; esta última cae a modo de cascada sobre el lado izquierdo del tabique interventricular (fig. 5 a y c). La división del haz de His en ocasiones se produce a modo de un jinete sentado a horcajadas sobre la cresta muscular del tabique interventricular (fig. 5a); sin embargo, en ocasiones está desviado a la izquierda (fig. 5c). Cuando esto sucede, la rama derecha se introduce en el interior de la mus-

culatura del tabique interventricular (fig. 5b), apareciendo en el ventrículo derecho en relación con la inserción del músculo papilar medial.

Las ramas, derecha e izquierda, en su curso proximal están rodeadas por una lámina fibrosa (fig. 5b y d). Como representó Tawara<sup>2</sup> (fig. 6a) en el hombre, la rama izquierda se divide típicamente en 3 fascículos con comunicaciones extensas entre ellos. Los fascículos se ramifican en el ápex ventricular y se extienden no sólo al interior de los 2 músculos papilares de la válvula mitral, sino que también recurren hacia la base del corazón. Más distalmente, en el ápex de los ventrículos del corazón del hombre, llega a ser casi imposible trazar las ramificaciones de las ramas de Purkinje, puesto que pierden la envoltura fibrosa que las cubre y se asemejan mucho a las del miocardio de trabajo.

Uno de los métodos que se utilizan para observar las láminas fibrosas y demostrar el curso subendocárdico de las ramas derecha e izquierda y sus ramificaciones en el corazón de los ungulados son las inyecciones subendocárdicas de tinta china (fig. 6 b-d). Nuestros estudios en corazones de oveja y ternero muestran algunas variaciones con respecto al humano. El corazón de ternero se asemeja más al corazón del hombre, pues los fascículos de la rama izquierda suelen ser 3, y se originan en la parte alta del tabique interventricular (fig. 6b). Sin embargo, el corazón de la oveja se divide sólo en 2 fascículos, pero cuando se encuentra a la mitad de camino del tabique. Tanto en el ternero como en la oveja existen pequeñas trabéculas musculares que cruzan la cavidad ventricular, son los denominados

**Fig. 6.** a: esquema de Tawara que muestra la disposición trifascicular de la rama izquierda en el hombre. b y c: muestran el corazón fresco de un ternero donde hemos abierto a modo de libro su ventrículo izquierdo y derecho, respectivamente. Mediante inyecciones subendocárdicas con tinta china podemos observar las ramas izquierda y derecha, así como la red de Purkinje. En b se observan 3 fascículos en la rama izquierda (flechas) y en c la banda moderadora (BM). d: es una sección del corazón de ternero (tinción Van Gieson, 100) obtenida después de inyectar con tinta china el sistema de Purkinje, el cual está envuelto en su origen por tejido conectivo (color rojo). E: disposición subendocárdica de la red de Purkinje en el ventrículo izquierdo de ternera. Nótese la disposición elíptica de la red y cómo de los bordes salen ramas que penetran en el espesor del miocardio (flechas). f: disección de las fibras musculares ventriculares en el corazón humano adulto. Nótese los cambios de disposición entre la capa media y profunda del ventrículo izquierdo. A: aorta; TP: tronco pulmonar; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo; VT: válvula tricúspide.



«tendones falsos», que llevan en su interior ramificaciones distales de las ramas de His hacia los músculos papilares y las paredes ventriculares adyacentes. En el lado derecho, la banda moderadora en el corazón de la oveja o del ternero es más delgada que en el hombre, pero en su interior siempre camina una rama de la rama derecha (fig. 6c).

La red subendocárdica de Purkinje tiene una disposición elíptica, tanto en el ventrículo izquierdo como en el derecho (fig. 6e). Además, del contorno se originan ramas que penetran en el espesor de las paredes ventriculares, dando nuevas ramas o anastomosis con otras ramas (fig. 6e). Sin embargo, hasta el momento no se ha documentado la presencia de ramas intramurales de la red de Purkinje<sup>30</sup> en el corazón humano.

Un punto controvertido en la red de Purkinje es la existencia de células transicionales entre el miocardio ventricular de trabajo y las células de Purkinje<sup>31</sup>. Estudios anatómicos e inmunohistoquímicos realizados por Oosthoek et al<sup>30</sup> muestran que, en el corazón de los bovinos, cuando las células de Purkinje pierden su cubierta conectiva existe una zona muy pequeña de células transicionales. Sin embargo, estas células no han sido observadas en el corazón de la oveja<sup>32</sup>. Cuando las células de Purkinje pierden su cubierta conectiva, los impulsos eléctricos pasan desde el SC a los miocitos ventriculares de trabajo. Es la orientación espacial de las miofibrillas de trabajo a lo largo de las paredes ventriculares la que determina la naturaleza anisotrópica de la conducción ventricular (fig. 6f).

## CONCLUSIONES

La estructura de los nodos y el resto del sistema de conducción AV en el corazón humano es comparable a la de los animales normalmente utilizados en el laboratorio; no obstante, existen diferencias entre especies. En un extremo de la aurícula derecha se sitúa el nodo SA, que es la estructura responsable de generar el ritmo cardíaco. Posteriormente, el impulso viaja en el espesor de las paredes auriculares, a través de una intrincada pero precisa disposición espacial de las fibras auriculares de trabajo, hasta el extremo final de la aurícula. En este último extremo, las células transicionales del nodo AV están «abiertas» para recibir y retrasar el impulso antes de su transmisión al haz de His. Este haz atraviesa el plano fibroso de aislamiento AV y lleva el impulso a través de 2 ramas (derecha e izquierda de His) que se dirigen a cada uno de los ventrículos. Cada una de estas ramas está aislada mediante una envoltura conectiva de los miocitos ventriculares de trabajo. Esta disposición permite contactos entre los miocitos especializados y los de trabajo solamente en las ramificaciones distales de las ramas de His. De esta manera, el sistema de conducción AV, descrito en su mayor parte por Tawara<sup>2</sup> hace casi 100 años, está estructurado para facilitar un orden en la transmisión del impulso cardíaco. Conocer la estructura y localización del tejido específico de conducción dentro del corazón podría proporcionar soluciones potenciales a las diversas perturbaciones que se producen del ritmo cardíaco.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Stannius H. Zwei Reihen physiologischer Versuche. 1. Versuche am Froschherzen. *Archiv für Anatomie and Physiologie*, 1852; p. 85.
2. Tawara S. Das Reizleitungssystem des Säugetierherzens. Jena: Gustav Fischer, 1906.
3. His W Jr. Die Thätigkeit des embryonalen Herzens und deren Bedeutung für die Lehre von der Herzbewegung beim Erwachsenen. *Arb Med Klinik Leipzig* 1893;1:14-49.
4. Keith A, Flack MW. The auriculo-ventricular bundle of the human heart. *Lancet* 1906;2:359-64.
5. Keith A, Flack M. The form and nature of the muscular connections between the primary divisions of the vertebrate heart. *J Anat Physiol* 1907;41:172-89.
6. Purkinje JE. Mikroskopisch neurologische Beobachtungen. *Archiv für Anatomie Physiologie und Wissenschaftliche Medicin* 1845; 12:281.
7. Tawara S. The conduction system of the mammalian heart. Translated by Kozo Suma and Munehiro Shimada. London: Imperial College Press, 2000.
8. Robb JS. Comparative basic cardiology. New York: Grune & Stratton, 1965; p 349-63.
9. Kent AFS. Researches on the structure and function of the mammalian hearts. *J Physiol* 1893;14:233-54.
10. Anderson RH, Ho SY, Gillette PC, Becker AE. Mahaim, Kent and abnormal atrioventricular conduction. *Cardiovasc Res* 1996; 31:480-91.
11. Chiu I, Hung CR, How SW, Chen MR. Is the sinus node visible grossly? A histological study of normal hearts. *Int J Cardiol* 1989; 22:83-7.
12. Anderson KR, Ho SY, Anderson RH. Location and vascular supply of sinus node in human heart. *Br Heart J* 1979;41:28-32.
13. Koch W. Weiter mitteilungen über den Sinusknoten der Herzens. *Verhandlungen der Deutschen Pathologischen Gesellschaft* 1909; 13:85.
14. Olgin JE, Ursell PC, Kao AK, Lesh MD. Pathological findings following slow pathway ablation for AV nodal reentrant tachycardia. *J Cardiovasc Electrophysiol* 1996;7:625-31.
15. Kurosawa H, Becker AE. Dead-end tract of the conduction axis. *Int J Cardiol* 1985;7:13-8.
16. Davies F. Conducting system of the vertebrate heart. *Br Heart J* 1942;4:66-76.
17. Truex RC, Smythe MQ, Taylor MJ. Reconstruction of the human sinuatrial node. *Anat Rec* 1967;159:371-8.
18. Aschoff L. Referat über die Herzstörungen in ihren Beziehungen zu den spezifischen Muskelsystemen des Herzens. *Ver Dtsch Pathol Ges* 1910;14:3-35.
19. Mönckeberg JC. Zur Entwicklungsgeschichte des Atrioventrikularsystems. *Ver Dtsch Pathol Ges* 1913;16:228-49.
20. Waki K, Kin JS, Becker AE. Morphology of the human atrioventricular node is age dependent: a feature of potential clinical significance. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2000;11:1144-51.
21. Inoue S, Shinohara F, Niitani H, Gotoh K. A new method for the histological study of aging changes in the sinoatrial node. *Jpn Heart J* 1986;27:653-60.
22. Chuaqui B. Lupenpräparatorische Darstellung der Ausbreitungszüge des Sinusknotens. *Virchows Arch Abt A Path Anat* 1972; 356:141-53.
23. Crick SJ, Wharton J, Sheppard MN, Royston D, Yacoub MH, Anderson RH, et al. Innervation of the human cardiac conduction system. A quantitative immunohistochemical and histochemical study. *Circulation* 1994;89:1697-708.
24. Inoue S, Becker AE. Posterior extensions of the human compact atrioventricular node. A neglected anatomic feature of potential clinical significance. *Circulation* 1998;97:188-93.
25. James TN. The connecting pathways between the sinus node and the A-V node and between the right and the left atrium in the human heart. *Am Heart J* 1963;66:498-508.
26. Sánchez-Quintana D, Davies DW, Ho SY, Oslizlok P, Anderson RH. Architecture of the atrial musculature in and around the triangle of Koch: its potential relevance to atrioventricular nodal reentry. *J Cardiovasc Electrophysiol* 1997;8:1396-407.
27. Ho SY, Kilpatrick L, Kanai T, Germroth PG, Thompson RP, Anderson RH. The architecture of the atrioventricular conduction axis in dog compared to man: its significance to ablation of the atrioventricular nodal approaches. *J Cardiovasc Electrophysiol* 1995;6:26-39.
28. Racker DK, Kadis AH. Proximal atrioventricular bundle, atrioventricular node, and distal atrioventricular bundle are distinct anatomic structures with unique histological characteristics and innervation. *Circulation* 2000;101:1049-59.
29. Anderson RH, Janse MJ, Van Capelle FJ, Billette J, Becker AE, Durrer D. A combined morphologic and electrophysiologic study of the atrioventricular node of the rabbit heart. *Circ Res* 1974; 35:909-22.
30. Oosthoek PW, Virágh S, Lamers WH, Moorman AFM. Immunohistochemical delineation of the conduction system II: the atrioventricular node and Purkinje fibres. *Circ Res* 1993;73:482-91.
31. Tranun-Jensen J, Wilde AA, Vermeulen JT, Janse MJ. Morphology of electrophysiologically identified junctions between Purkinje fibres and ventricular muscle in rabbit and pig hearts. *Circ Res* 1991;69:429-37.
32. Ansari A, Ho SY, Anderson RH. Distribution of the Purkinje fibres in the sheep heart. *Anat Rec* 1999;254:92-7.