

Desarrollo del Nodo Atrioventricular

Trindade de Veglia, HM, Civetta, JD. Técnica Histológica: Sarasúa, MT (*)

Introducción

El estudio e interpretación del desarrollo del tejido de conducción del eje atrioventricular, es difícil, porque éste se ubica en el área más conflictiva de la estructura cardíaca, el área de confluencia de los tabiques interventricular e interatrial, y la unión atrioventricular.

Anderson y colaboradores⁽¹⁾, en sus estudios postulaban que para el desarrollo del sistema de conducción del eje atrioventricular intervenían dos anillos: el anillo atrioventricular y el anillo interventricular

Más recientemente, Wessels y colaboradores⁽²⁾, en estudios realizados con un anticuerpo monoclonal, surgido contra el ganglio nodoso del pollo (G1N2), encontraron que un anillo único de tejido especializado, ubicado entre las dos porciones del asa ventricular era el precursor de los tejidos de conducción del eje atrioventricular

Sin embargo en estadios más avanzados encontraron tejido G1N2 reactivo en la pared interna del canal atrioventricular derecho, que interpretaron era una porción del mismo anillo interventricular formada al producirse la extensión hacia la derecha del canal atrioventricular. Asimismo encontraron otra expansión que rodeaba el origen de la aorta e interpretada como parte del mismo anillo.

Con el crecimiento estos tejidos se tornan discontinuos y los islotes de tejido especializado coinciden con la ubicación del nodo AV definitivo y los tejidos retroaórticos se interpretan como fibras correspondientes a la porción terminal del haz principal, "dead end track" descripto por Kurosawa⁽³⁾.

El nodo AV se desarrolla en región dorsal de este área, por la unión de una evaginación del tejido especializado del anillo atrioventricular, primordio del nodo AV, y el tejido especializado de los haces ventriculares. Esta parte del tejido de conducción, está emparedado entre el cojinete por dentro y el tejido conectivo del surco AV, por fuera, constituyendo el haz penetrante, en la sexta semana⁽⁴⁾. Estas estructuras conectivas van a formar posteriormente el anillo fibroso.

Material y Métodos

Para realizar este trabajo se han estudiado los cortes seriados de embriones y fetos humanos pertenecientes a la embrioteca de la Cátedra I de Anatomía Humana Normal de la Facultad de Medicina y enviados al laboratorio desde los servicios hospitalarios, con autorización de los Comités de Ética. Estos ejemplares fueron procesados histológicamente y observados mediante microscopía óptica obteniéndose microfotografías de sectores específicos. El material estudiado, su clasificación, estadio del desarrollo y edad gestacional, plano de los cortes y métodos de tinción utilizados se detallan a continuación:

- CIV 2: Embrión Humano de 11,5 mm 6^{ta} semana. C.R. Horizonte XVI de Streeter cortes transversales teñidos con el método de Mallory-Heidenheim.
- GV1: Embrión Humano de 12 mm 6^{ta} semana. C.R. Horizonte XVI de Streeter. Cortes transversales teñidos con el método de Mallory-Heidenheim.
- GT: Embrión Humano de 13 mm 7^{ma} semana. C.R. Horizonte XVII de Streeter, en cortes transversales teñidos con Hematoxilina Eosina.
- JU 4: Embrión Humano de 14,8 mm 7^{ma} semana. C.R. Horizonte XVII de Streeter, cortes transversales teñidos con Hematoxilina Eosina.
- MON 1: Embrión Humano de 16 mm 7^{ma} semana. C.R. Horizonte XVIII de Streeter, cortes transversales teñidos con Hematoxilina Eosina.
- VE: Embrión Humano de 17 mm 7^{ma} semana. C.R. Horizonte XVIII de Streeter, cortes transversales teñidos con Hematoxilina Eosina.
- GON 2 Embrión Humano de 18 mm 7^{ma} semana. C.R. Horizonte XVIII de Streeter, cortes transversales teñidos con Mallory-Heidenheim.
- MEN 1: Embrión Humano de 22 mm 8^{va} semana. C.R. Horizonte XX de Streeter, cortes transversales teñidos con H.E. y Mallory-Heidenheim.
- VA 1: Embrión Humano de 24 mm 8^{va} semana. C.R. Horizonte XXI de Streeter, cortes transversales teñidos con Mallory-Heidenheim.

(*) Laboratorio de Anatomía del Desarrollo. Sargento Cabral 2001. Corrientes, Argentina. E-mail: hildatv@yahoo.com.ar



Foto 1 de embrión humano de la 6ª semana, mostrando el primordio del nodo AV. 1: tejido de conducción sobre el septum interventricular; 2: rama derecha; 3: ramas izq. anteriores; 4: primordio del nodo AV; 5: ramas izq. posteriores; 6: cojinete endocárdico; 7: tejido conectivo del surco AV; 8: conducto de Cuvier; 9: haz penetrante. x 40 aumentos.

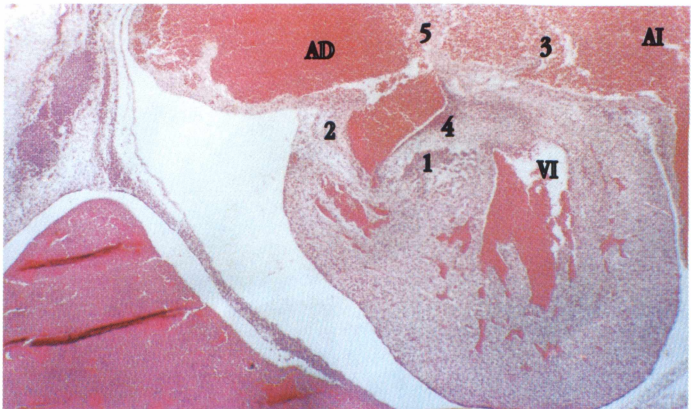


Foto 4 de E.H. Mon 1 de 16 mm CR 7ª semana, mostrando el tejido de conducción en posición AV. 1: tejido de conducción rodeado de un halo de tejido conectivo laxo; 2: tejido del anillo atrioventricular; 3: septum primum; 4: cojinete endocárdico; 5: valva del seno venoso. x 40 aumentos.

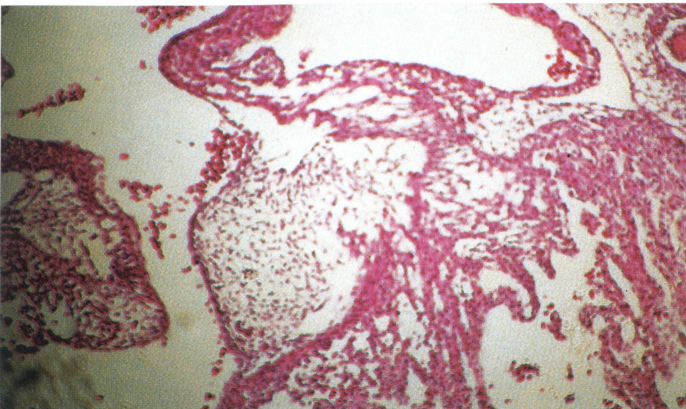


Foto 2, el mismo corte de la foto 1 con más aumento. x 100.

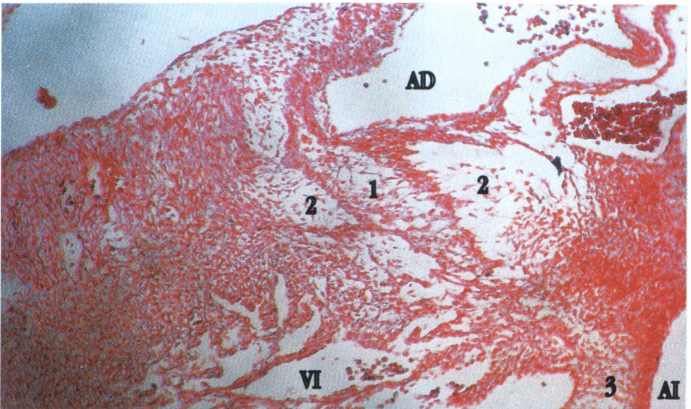


Foto 5 de E.H. Gon 2 de 18 mm CR de la 7ª semana, mostrando el tejido de conducción en posición AV. 1: tejido de conducción que se prolonga hacia atrás con el anillo atrioventricular; 2: tejido conectivo del surco AV dorsal; 3: valva septal de la mitral. x 40 aumentos.

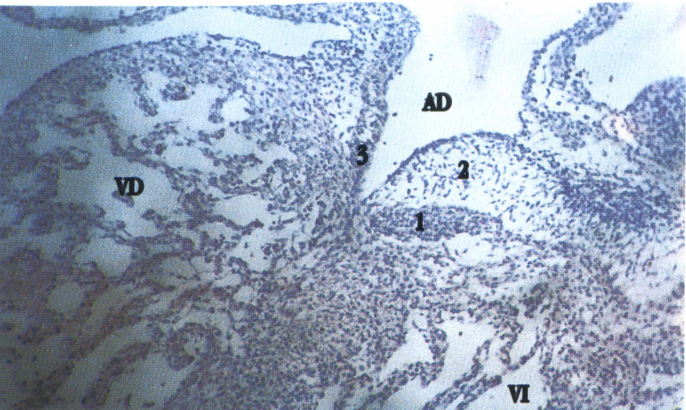


Foto 3 de E.H. GT de la 7ª semana mostrando el tejido de conducción en posición AV. 1: tejido de conducción; 2: cojinete; 3: tejido del anillo atrioventricular. x 40 aumentos.

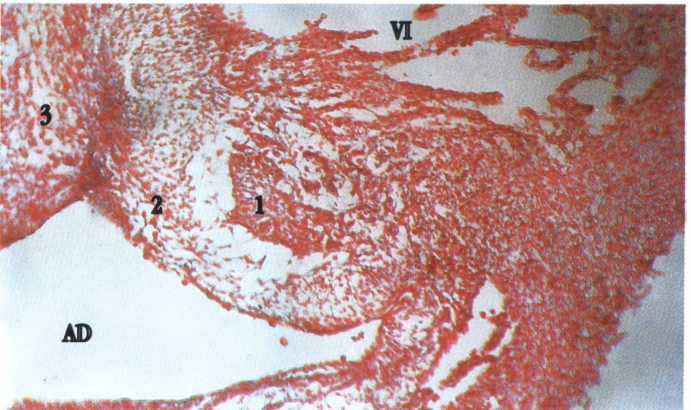


Foto 6 de E.H. Mem 1 de la 8ª semana, mostrando el tejido de conducción que penetra el cojinete. 1: tejido de conducción rodeado de tejido conectivo laxo; 2: cojinete; 3: septum interatrial. x 40 aumentos.

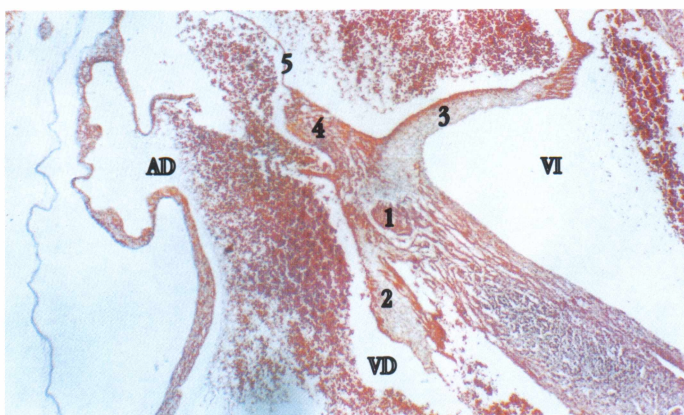


Foto 7 de E.H. Ser de 42 mm CR de la 9ª semana, mostrando el tejido de conducción en posición AV. 1: tejido de conducción por dentro de la inserción de la valva septal de la válvula tricúspide; 2: valva septal de la tricúspide; 3: valva septal de la mitral; 4: septum interatrial. x 40 aumentos.

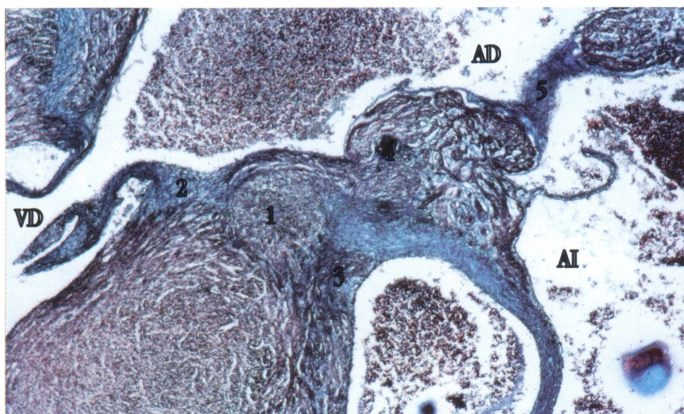


Foto 8 de feto humano de 75 mm CR 11ª—12ª semana, mostrando el nodo AV completamente formado. 1: nodo AV; 2: valva septal de la tricúspide; 3: centro tendinoso del corazón; 4: tendón de Todaro; 5: septum interatrial. x 40 aumentos.

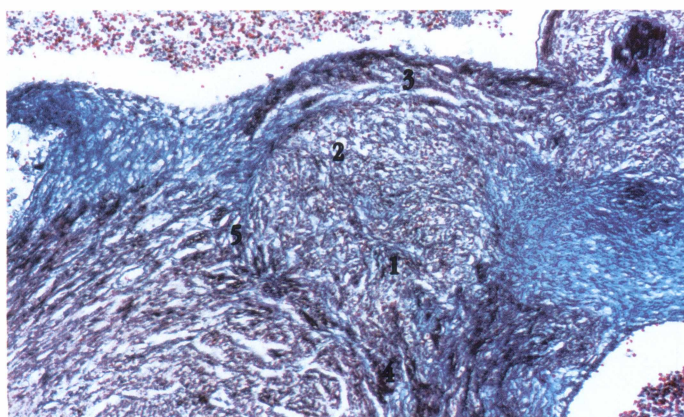


Foto 9, igual que la anterior, con más aumento, mostrando detalles del nodo AV. 1: porción profunda del nodo AV; 2: porción superficial del nodo AV; 3: células atriales de transición; 4: prolongación izquierda del nodo AV; 5: prolongación derecha del nodo AV. x 100 aumentos.

- GUID 2: Embrión Humano de 28,25 mm 9ª semana. C.R. Horizonte XXII de Streeter, cortes transversales teñidos con H.E. y con Mallory–Heidenheim.
- TEMAR 3: Feto Humano de 36 mm 9ª semana. C.R. Horizonte XXIII de Streeter, cortes transversales teñidos con el método de Bielchowsky.
- SER 2: Feto Humano de 42 mm 10ª semana. C.R. Horizonte XXIII de Streeter, cortes transversales teñidos con Mallory–Heidenheim.
- MARIT 1: Feto Humano de 48 mm C.R. 10ª semana. Horizonte XXIII de Streeter, cortes transversales teñidos con Mallory–Heidenheim.
- VA 2: Feto Humano de 56 mm C.R. 10ª semana. Horizonte XXIII de Streeter, cortes frontales teñidos con Mallory–Heidenheim.
- MARIT 5: Feto Humano de 75 mm C.R. 11ª semana. Horizonte XXIII de Streeter, cortes transversales teñidos con Mallory–Heidenheim.

Resultados

CIV 2 Embrión humano de 11,5 mm CR. En este estadio el sistema de conducción, que forma el eje atrioventricular, consiste en un manto de tejido histológicamente diferenciable y que se dispone a horcajadas sobre el septum IV.

En la porción dorsal del septum IV, que tiene mayor altura, es posible, en cortes sucesivos, observar el tejido de conducción que adopta una disposición plexiforme, formado por fibras musculares entrecruzadas que ocupan la región AV derecha y constituyen el primordio del nodo AV. En los cortes de este espécimen, que tienen cierta oblicuidad, es posible ver que el septum IV está coronado por el tejido de conducción que impresiona como una evaginación del anillo AV.

En cortes distales se individualizan las ramas izquierdas posteriores que emergen del primordio del nodo AV, y se distribuyen por el endocardio ventricular.

Esta porción de tejido especializado queda emparedado entre los cojinetes por dentro y el tejido conectivo del surco AV por fuera, constituyendo de esta manera, el haz penetrante.

En GV Embrión Humano de 12 mm C.R., que tiene un grado de desarrollo similar al anterior, es posible observar el tejido especializado cubriendo el septum IV, el que está separado de los cojinetes endocárdicos por un espacio amplio en la zona media y más estrecho en la región dorsal, hechos que pueden comprobarse en el estudio de los cortes.

Se ha logrado identificar también la bifurcación del manto de tejido de conducción supraseptal, que origina a la derecha una rama cordiforme, incluida en el tabique IV en su trayecto proximal y otra porción que cruza como un puente la cavidad del ventrículo derecho y se une a su pared anterior (esbozo de la banda moderadora).

A la misma altura se observan ramas izquierdas anteriores que se desprenden del tronco y se dirigen por el subendocardio hacia el ventrículo izquierdo. En cortes sucesivos es

posible ver como el tejido especializado adopta la forma de un ángulo agudo cubriendo el septum IV en su porción más alta y acercándose a los cojinetes endocárdicos. Al mismo tiempo se aproxima a una evaginación del tejido especializado atrioventricular que constituye el primordio del nodo AV, del cual se ven emerger ramificaciones izquierdas posteriores, irradiando hacia el ventrículo izquierdo; el primordio del nodo AV se ubica a nivel del surco atrioventricular.

La evaginación del tejido AV y el tejido especializado vecino, queda, igual que en el espécimen descrito anteriormente, encerrado por tejido conectivo, de los cojinetes por dentro, y del surco AV por fuera, formando así el haz penetrante.

El primordio del nodo AV está ubicado en el margen interno del surco AV izquierdo, y corresponde al extremo dorsal del septum IV, queda por debajo de la valva derecha del seno venoso que se acerca a la desembocadura del conducto de Couvier izquierdo, (futuro seno coronario), por ende por debajo de la formación conocida como Tendón de Todaro.

En los embriones GT de 13 mm y JU 4 de 14,8 mm Hte. XVII de Streeter se observa el tejido de conducción en la cúspide del septum interventricular (IV) y al haz principal dando origen a las ramas ventriculares constituyendo la porción ramificante del mismo, posteriormente el mismo haz no da más ramas por lo que constituye la porción no ramificante o haz penetrante. Esta porción penetrante está emparejada entre el tejido conectivo del cojinete por dentro y el tejido conectivo del surco AV por fuera.

Este haz está ubicado en forma constante por debajo de la valva septal de la tricúspide y se lo ve como un acúmulo de células o fibras cortadas transversalmente, de un color más oscuro que el resto y rodeadas por un halo claro de tejido conectivo.

Siguiendo este haz en los cortes sucesivos vemos que llega hasta la porción más dorsal del área atrioventricular, en este lugar la valva septal de la tricúspide termina su inserción en la pared septal y el haz pasa a la pared atrial.

En este lugar, las fibras del haz se hacen más plexiformes y se extienden en sentido transversal siempre rodeadas de tejido claro, contactando por sus extremos con un tejido de similares características de la unión atrioventricular.

Embriones Humanos MON 1 de 16 mm, VE de 17 mm y GON 2 de 18 mm del Horizonte XVIII de Streeter.

En estos ejemplares se observa al tejido de conducción con similares características a los del grupo anterior, extendiéndose desde la raíz aórtica hasta el atrio, los haces de fibras que forman el haz principal están fragmentadas y separadas entre sí por tejido conectivo claro, dándole una apariencia floja, ubicadas siempre por debajo de la valva septal de la tricúspide.

Al llegar a la región dorsal el haz tiende a hacerse más compacto, y se destacan sus células más oscuras sobre un

halo claro que lo rodea. Posteriormente al hacerse permeable la valva septal de la tricúspide, el haz pasa al atrio tomando una apariencia plexiforme.

El haz descrito está constituido por fibras de origen ventricular derivadas del anillo de tejido especializado interventricular y fibras procedentes del tejido especializado atrioventricular, que originó el primordio del nodo AV.

El haz penetrante se continúa insensiblemente con el nodo, en el cual, además de estos tejidos, hay una capa de células transicionales, propias del atrio, que lo rodean.

Esto le da al nodo la apariencia de estar formado por dos porciones: una central más compacta, el nodo compacto, y otra porción periférica, más floja de células transicionales.

Embriones Humanos MEN 1 de 22 mm C.R., Horizonte XX de Streeter. y VA 1 de 24 mm C.R. Horizonte XXI de Streeter. En estas etapas del desarrollo, el tejido de conducción se ve por debajo de la valva septal de la tricúspide, en relación con la raíz aórtica.

En cortes sucesivos, el haz principal se ve más denso y oscuro, rodeado de un halo claro de tejido conectivo. El haz penetrante, que sigue al haz ramificante, en su camino hacia el atrio, está ubicado siempre en relación con la cara inferior de la valva septal de la tricúspide, ésta valva lo separa del atrio derecho.

En cortes más distales, el tejido especializado, se hace más plexiforme, y queda en neta posición AV.

Embrión Humano GUI 2 de 28,25 mm C.R. y Fetus Humanos: TEMAR 3 de 36 mm C.R.; SER II de 42 mm C.R.; MARIT I de 48 mm C.R. y MARIT 5 de 75 mm C.R. correspondientes al Horizonte XXIII de Streeter.

En estos ejemplares, el haz principal se diferencia por estar formado por un conjunto de fibras especializadas, rodeadas por tejido conectivo que en las preparaciones teñidas con el método de Mallory – Heidenheim, se tiñe de color azul.

El haz ramificante se continúa con la porción penetrante, y es posible ver en algunos ejemplares, como traspone el centro fibroso del corazón y se convierte en nodo AV al ingresar al atrio derecho.

El nodo AV se distingue de la porción penetrante, por estar rodeado por tejido atrial, se ubica en la base del septum secundum, por debajo del tendón de Todaro, por encima de la inserción de la valva septal de la tricúspide, ocupando el área del triángulo de Koch.

Discusión

Es interesante destacar, que en la serie de cortes de embriones y fetos humanos estudiados, es constante encontrar al Haz principal del tejido de conducción, ubicado por debajo de la valva septal de la tricúspide.

Es posible ubicar al tejido de conducción, tomando como reparo a la raíz aórtica, donde encontramos la porción ramificante dando sus ramas. Esta porción ramificante está usualmente por debajo de las valvas coronaria derecha y

no coronariana de la válvula aórtica, por debajo del septum membranoso.

Esta porción comienza con el origen de las ramas izquierdas, en el subendocardio del tracto de salida aórtico.

La rama derecha comienza más abajo por debajo del músculo papilar del cono arterial derecho.

La porción no ramificante o penetrante, es muy corta, y se ubica entre el septum membranoso y el septum muscular.

Una vez que el haz penetrante traspone el triángulo de Koch, se convierte en nodo AV.

De esta manera, vemos que la separación entre el haz penetrante y el nodo es topográfica, ya que denominamos nodo al tejido especializado ubicado en el atrio derecho a continuación del haz penetrante.

Dado que la inserción de la válvula mitral en el septum I.V. está en un nivel superior al de la válvula tricúspide, anatómicamente existe una porción del tabique muscular que es atrioventricular, separando el atrio derecho del ventrículo izquierdo.

El nodo AV se ubica contra el anillo fibroso, en la porción atrial de este tabique atrioventricular, en el vértice del triángulo de Koch.

Células de transición cubren al nodo y lo separan del resto del miocardio atrial.

Es posible ver prolongaciones del nodo hacia atrás siguiendo la curvatura del anillo valvular mitral y tricúspideo.

Al corte el nodo tiene una forma semioval, con aspecto bilaminar, con una porción profunda y otra superficial, y cubierta además por una tercera capa de células atriales de transición.

El nodo AV ocupa una posición en el centro del corazón, al estar relacionado con el anillo fibroso y el centro tendinoso del corazón.

Es una formación epicárdica, porque un plano de tejido conectivo, se extiende desde el surco AV posterior, hasta la cruz cardíaca y corre por debajo del seno coronario hasta el tabique muscular IV.

En este plano de tejido conectivo la arteria del nodo se aproxima y penetra en él. Esta arteria, rama de la coronaria izquierda, más frecuentemente, es generalmente larga y sirve de reparo anatómico⁽⁶⁾.

En el curso de la evolución vemos como esta formación nodular que surgió de la unión de los haces ventriculares con el tejido especializado del anillo AV, va madurando y adquiriendo su aspecto definitivo, plexiforme en etapas tempranas del desarrollo, se va haciendo más definido en embriones que superan los 20 mm C.R. y se lo observa formado por un apretado conjunto de fibras que al corte le da al nodo un aspecto semioval.

Esta formación se ubica en la región atrioventricular del tabique I.V. y en el vértice del triángulo de Koch.

En etapas tempranas del desarrollo, se puede ver como esta formación nodular se continúa con el tejido de la región atrioventricular de similares características, del que parece ser un engrosamiento localizado en la región dorsal, con forma de huso en los embriones más jóvenes; al madurar, va adquiriendo una forma redondeada y regular, constituyendo un "nudo" como lo denominara Tawara en su descripción original de 1906, (5) ubicado en el anillo de tejido atrioventricular.

Esta disposición se conserva aún en los especímenes más grandes, del Horizonte XXIII de Streeter, viéndose como prolongaciones posteriores del nodo.

Conclusiones

- El nodo se forma por la unión del tejido especializado ventricular con el del anillo atrioventricular que forma el primordio.
- Se ubica en la porción atrial de la región atrioventricular del septum IV.
- Forma parte del anillo de tejido atrioventricular del que parece ser un nudo o abultamiento formado por fibras especializadas.
- A pesar de encontrarse en el tabique interatrial, es una formación epicárdica porque un plano de tejido conectivo lo conecta con la superficie del corazón.

Bibliografía Citada

1. Anderson RH, Becker AE, Weninck ACG, Janse MJ. The development of the cardiac specialized tissue. In HJJ Wellens, KI Lie, MJ Janse (Eds): The conduction system of the heart. Leiden, H.E. Stenfert Kroese B.V., 1976, pp. 3-28.
2. Wessels A, Vermeulen JLM, Verbeek RJ, Viragh SZ, Kalman F, Lamers WH, Moorman AFM. Spatial distribution of "tissue specific" antigens in the developing human heart and skeletal muscle: III. An immunohistochemical analysis of the distribution of the neural antigen GIN2 in the embryonic heart: implications for the development of the atrioventricular conduction system. *Anat Rec* 1992; 232:97-111.
3. Kurosawa H, Becker AE. Dead-end tracts of the conduction axis. *Int J Cardiol* 1985; 7: 13-18.
4. Trindade de Veglia HM, Civetta JD; Nuevos hallazgos en el sistema de conducción atrioventricular en embriones humanos de la sexta semana de desarrollo. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad Nacional del Nordeste, 2001. Ciencias Médicas Publicación en Internet 008.
5. Tawara S, citado por MB Rosenbaum, MV Elizari, JO Lazzari. Los Hemibloqueos. Ed. Paidós. Bs.As. Talleres Gráficos Didot SCA. 1968. Capítulo II 43-90.
6. Ho SY, Anderson RH, Embryology and anatomy of the normal and abnormal conduction system. In: Gillette PC, Garson A Jr., Eds. *Pediatric arrhythmias: electrophysiology and pacing*. Philadelphia: WB Saunders, 1990: 2-27.