

## ESQUELETO FIBROSO DO CORAÇÃO. EMBRIOLOGIA E PROPOSTA DE SISTEMATIZAÇÃO ANATÔMICA

ARMANDO MIGUEL JUNIOR\*

Com o avanço das técnicas em cirurgia cardíaca muito tem-se ocupado com os estudos anatômicos das regiões valvares<sup>1,3</sup>, porém poucas referências existem a respeito da anatomia e principalmente da embriologia do esqueleto fibroso do coração.

A princípio entendia-se o esqueleto fibroso como uma simples estrutura colocada entre as valvas cardíacas com a função de apoio às cúspides e feixes musculares, ou então como mero elemento separador das musculaturas atriais e ventriculares<sup>4-6</sup>. Atualmente entende-se que os elementos componentes deste sistema têm estruturas e funções complexas.

O sistema esquelético do coração com seus vários componentes funciona de acordo com a sua localização, como aparelho de sustentação, no caso dos anéis valvares, como aparelho separador, no caso dos septos interatrial e interventricular.

Em vista disto nós podemos dividir didaticamente o sistema esquelético do coração em: conjunto de sustentação, conjunto septal e conjunto atrial.

### MORFOLOGIA DO SISTEMA ESQUELÉTICO DO CORAÇÃO

**Conjunto de sustentação (Corpo do esqueleto fibroso)**—O conjunto de sustentação representa a parte principal do esqueleto fibroso do coração, e deste o corpo fibroso central com duas porções: a porção atrial e a porção ventricular, a sua parte fundamental. Este conjunto dá sustentação a praticamente todas as estruturas cardíacas, pois mantendo-se relativamente fixo permite a mobilidade destas estruturas.

O ponto central do esqueleto fibroso é a raiz da artéria aorta, e nesta localização, entre o anel das valvas tricúspide e mitral encontramos um tecido fibroso denso, o corpo fibroso central que ocupando uma posição entre os átrios e os ventrículos, exerce importante papel na união e sustentação dos anéis fibrosos valvares. Contribui também na formação do corpo fibroso central o trígono direito, e a porção membranosa do septo interventricular<sup>7</sup>.

Fazendo parte do conjunto de sustentação vemos um tecido fibroso que se estende na região posterior da cúspide septal da valva mitral até a cúspide septal da valva tricúspide, promovendo a união dos anéis fibrosos

das valvas mitral e aórtica, denominado de continuidade fibrosa mitro-aórtica. Este tecido fibroso apresenta trígono de reforço nas extremidades direita e esquerda (fig. 1)<sup>8-11</sup>.

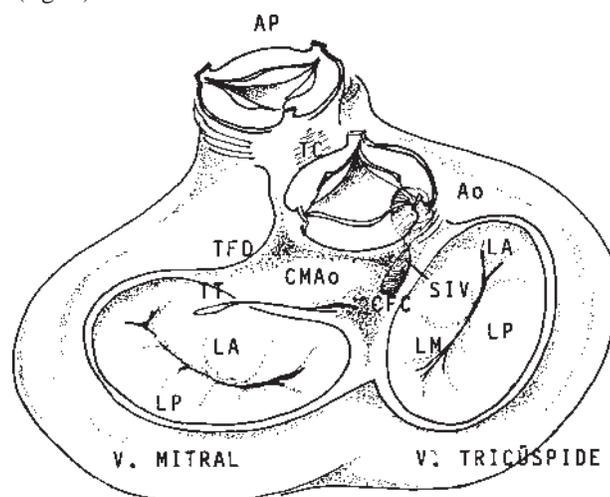


Fig. 1—Visão superior da base do coração sem os átrios, mostrando as estruturas componentes do esqueleto fibroso do coração. AP—artéria pulmonar; Ao—artéria aorta; TC—tendão do conus; TFD—trígono fibroso direito; CMAo—continuidade mitroaórtica; CFC—corpo fibroso central; SIV—septo membranoso interventricular; TT—tendão de Todaro; LA—lascínea anterior; LP—lascínea posterior; LM—lascínea medial.

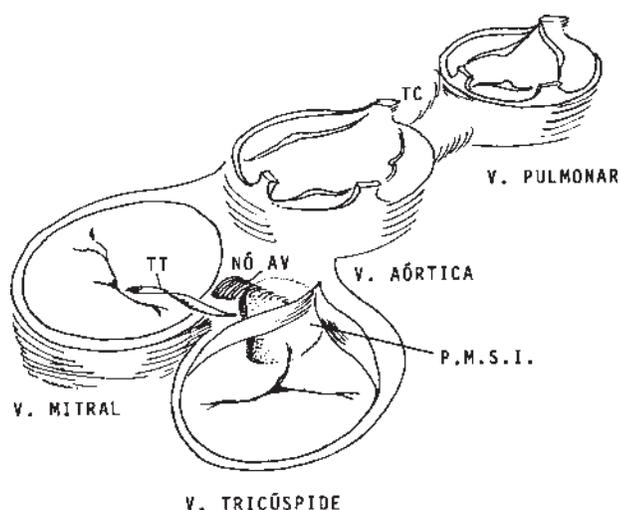


Fig. 2—Esquema dos 4 anéis de sustentação das valvas cardíacas e suas relações topográficas. TT—tendão de Todaro; TC—tendão do conus; PMSI—porção membranosa do septo interventricular.

\* Professor Adjunto da Disciplina de Cardiologia da PUCCAMP

No conjunto de sustentação o componente valvar é representado pelos 4 anéis fibrosos que dão sustentação às cúspides valvares. Os anéis fibrosos mitral e aórtico se mostram mais próximos e coesos, o anel fibroso da valva tricúspide, apesar de junto dos dois anteriores, afasta-se do corpo fibroso central, já o anel fibroso da valva pulmonar encontra-se totalmente separado, num plano mais superior, fazendo ligação com o anel aórtico através do tendão do conus<sup>10-13</sup> (fig. 2).

As valvas atrioventriculares apresentam, além dos anéis, as cúspides e as cordoalhas que as unem aos músculos papilares. O anel da valva mitral, assim como a valva aórtica apresenta em sua face ventricular fibras musculares aderidas<sup>7,8</sup>. Anteromedialmente a cúspide anterior da valva mitral está em continuidade com as cúspides esquerda e a posterior da valva aórtica. Como vimos, existe uma forte união entre os anéis das valvas mitral e aórtica com um tecido fibroso espesso denominado continuidade mitro-aórtica, com reforço na sua extremidade esquerda (trígono fibroso esquerdo), e na sua extremidade direita (trígono fibroso direito)<sup>8</sup> (fig. 1).

Uma extensa revisão sobre a anatomia da valva mitral e em especial do seu anel foi feita por Fortuna, 1983<sup>1</sup>, segundo ele vários anatomistas e investigadores, tanto no passado como no presente admitiam, que o anel valvar era uma estrutura fibrosa que circunscruvia totalmente o orifício atrioventricular esquerdo, mas os estudos de Zimmerman & Bailey, 1962<sup>14</sup> mostraram que este anel não é completo, pois deixa de existir na região de inserção da cúspide posterior da valva mitral.

No coração humano a aproximação entre as cúspides posterior da valva aórtica e cúspide anterior da valva mitral pode ser demonstrada desde as fases fetais até a fase adulta<sup>13</sup>, explicando-se, assim, o envolvimento simultâneo destas cúspides nas várias patologias que acometem os aparelhos valvares.

O anel da valva tricúspide é mais delgado que o da valva mitral, encontrando-se afastado do corpo do esqueleto fibroso do coração, fez relação com a valva aórtica através da porção membranosa do septo interventricular.

O anel da valva pulmonar situa-se mais anteriormente e à esquerda do corpo do esqueleto fibroso do coração, e sua conexão com este é feita pelo tendão do conus, que é uma estrutura fibrosa situada na região infundibular do ventrículo direito<sup>15</sup> (fig. 2).

**Conjunto septal**—Uma importante região do esqueleto fibroso do coração localiza-se na via de saída do ventrículo esquerdo, junto da sua parede anterior. Esta região é formada pela porção membranosa do septo interventricular com seus dois componentes: o componente interventricular e o componente atrioventricular, estando este último situado entre a raiz da artéria aorta e o átrio direito<sup>8</sup> (fig. 3).

A extremidade superior do septo membranoso interventricular está em continuidade com a parede anterior da aorta ascendente, e a extremidade inferior está

em continuidade com a porção muscular lisa do septo interventricular.

A face direita do septo membranoso interventricular dá apoio a uma pequena parte da cúspide medial da valva tricúspide, como também, à parte da parede medial do átrio direito. Nesta região as fibras musculares atriais prendem-se junto a área do nó atrioventricular, no corpo fibroso central, mostrando, assim a íntima relação anatômica e funcional existente entre estas estruturas, ou seja, fibras musculares atriais, esqueleto fibroso do coração e sistema específico de condução<sup>16,17</sup>.

Na parede posterior da via de saída do ventrículo esquerdo existe uma região de sustentação da parede anterior do átrio esquerdo, logo abaixo da área de apoio da cúspide posterior da valva aórtica. O espaço resultante entre estas duas áreas de sustentação é preenchido por um tecido fibroso, que recebe o nome de septo intervalvar, e mede no adulto entre 2 e 10 mm de comprimento<sup>13</sup> (fig. 4).

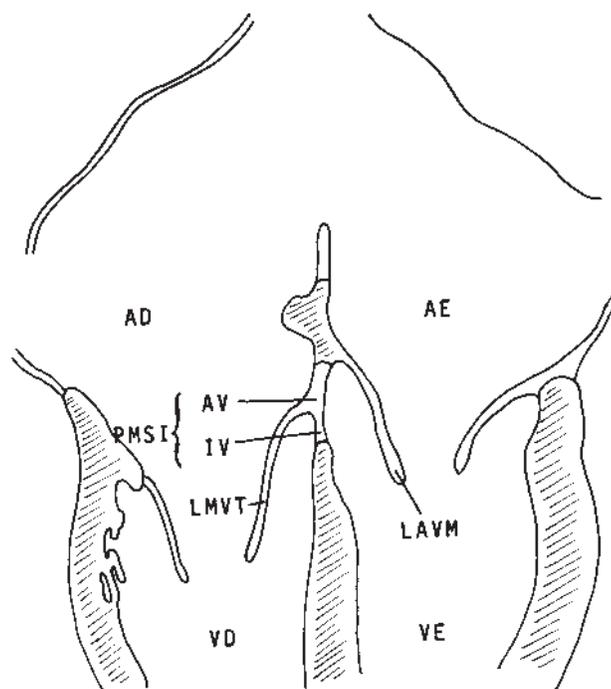


Fig. 3—Esquema do coração formado em corte coronal mostrando as relações da porção membranosa do septo interventricular. PMSI — porção membranosa do septo interventricular; AV—componente atrioventricular; IV—componente interventricular; LMVT—lâncina medial da valva tricúspide; LAVM—lâncina anterior da valva mitral; AD—átrio direito; AE—átrio esquerdo; VD—ventrículo direito; VE—ventrículo esquerdo.

**Conjunto atrial**—O conjunto atrial é formado pela porção inferior do septo interatrial e principalmente por uma importante extensão da cúspide fibrosa que ocorre no átrio direito que é o tendão de Todaro, uma estrutura resultante da continuidade fibrosa da comissura das valvas da veia cava inferior e do seio coronariano, passando por trajeto intramiocárdico através do septo do seio coronariano e inserindo-se no corpo fibroso central<sup>8</sup> (fig. 2).

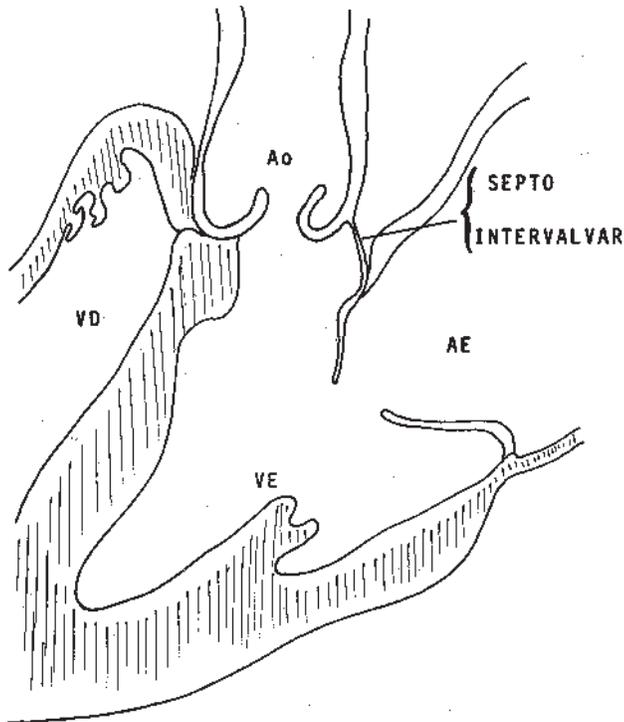


Fig. 4—Esquema do coração adulto em corte longitudinal, na região do septo intervalvar. Ao—artéria aorta; AE—átrio esquerdo VD — ventrículo direito; VE—ventrículo esquerdo.

Em síntese o esqueleto fibroso do coração é composto pelas estruturas relacionadas no quadro I.

**QUADRO I—Estruturas componentes do esqueleto fibroso do coração.**

1. Conjunto de Sustentação	Corpo Fibroso central (porção ventricular) Trígonos Fibrosos direito e esquerdo Continuidade mitroaórtica Anéis Fibrosos valvares Tendão do conus	
2. Conjunto Septal	Porção membranosa do septo inter-ventricular	Componente atrio-ventricular Componente interventricular
3. Conjunto Atrial	Septo intervalvar Corpo Fibroso central (porção atrial) Septo interatrial (parte inferior do septum primum) Tendão de Todaro	

**EMBRIOGÊNESE DO ESQUELETO FIBROSO DO CORAÇÃO**

O esqueleto fibroso do coração é composto por várias estruturas intimamente relacionadas, porém se formando em tempos e locais distintos, para só no final compor esta importante parte do coração. Por este motivo os embriologistas se ocuparam mais do estudo de cada parte individualmente, como por exemplo, a valvogênese, a septogênese atrial, a septogênese ventricular, em detrimento do estudo do conjunto todo.

Se quisermos, então, compreender como se forma o esqueleto fibroso do coração temos que nos reportar a estes estudos particularizados.

O esqueleto fibroso do coração tem sua origem a partir de vários tecidos embrionários, destes, chama a atenção o tecido sulcal que contribui na formação de quase todo o sistema fibroso, como o septum primum, como os anéis fibrosos de sustentação das valvas, como a porção atrial do corpo fibroso central, como o tendão de Todaro e parte do septo membranoso interventricular<sup>18</sup> (fig. 5).

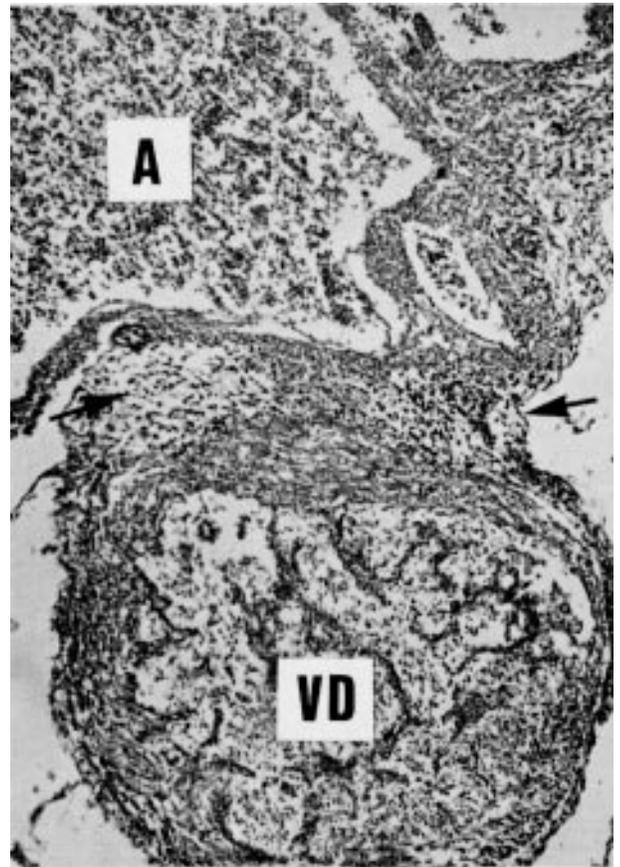


Fig. 5—Fotografia de corte histológico da região atrioventricular de um embrião humano com 19 mmCR, corado pelo H.E.: aumento de aproximadamente 60 vezes. A—átrio; VD—ventrículo direito. As setas apontam para as regiões do tecido mesenquimatoso do sulco atrioventricular (tecido sulcal).

Além do tecido sulcal também participam na formação do esqueleto fibroso do coração os coxins endocárdicos, a saliência bulbo (cono) ventricular e a crista tronco-conal direita.

**Formação do corpo fibroso central**—O corpo fibroso central ocupa papel de destaque no esqueleto fibroso do coração, com suas porções atrial e ventricular. Existem duas hipóteses para explicar a formação desta estrutura: 1ª hipótese, que a porção atrial é formada pelo crescimento interno do tecido sulcal, e a porção ventricular desenvolve-se a partir da saliência bulbo (cono) ventricular e do coxim endocárdico

que se mantém no topo do septo interventricular<sup>13,18</sup>, 2ª hipótese, que ocorrendo a fusão dos coxins endocárdicos o canal muscular atrioventricular fica dividido por um septo denominado septum intermedium, e a formação do corpo fibroso central se dá pela intensa fibrose que ocorre neste septo na altura do sulco atrioventricular<sup>19</sup>.

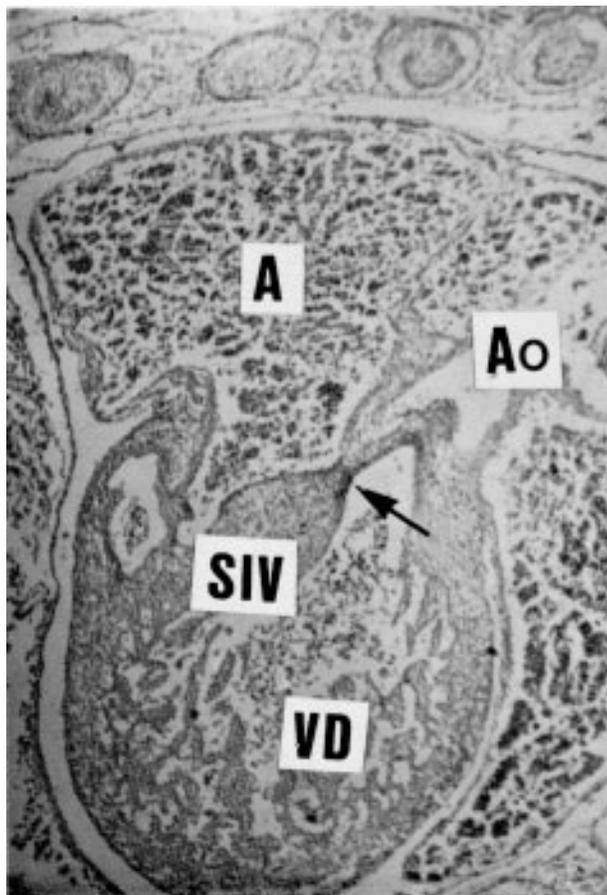


Fig. 6—Fotografia de corte histológico no sentido longitudinal de um embrião humano com 20 mmCR, corado pelo H.E.: aumento de aproximadamente 40 vezes. Pormenor da região do coração; SIV—septo interventricular; Ao—aorta; VD—ventrículo direito; A—átrio. A seta aponta para a porção membranosa do septo interventricular em continuidade com a parede da artéria aorta.

**Formação dos anéis valvares**—Os anéis valvares têm origem a partir de tecidos embrionários da parte externa do coração, que invaginam pelos sulcos atrioventriculares e bulbo (cono) ventricular, ou seja, o tecido sulcal e o tecido da saliência bulbo (cono) ventricular respectivamente<sup>20-22</sup>.

Durante a valvogênese, muito tecido do coxim endocárdico é removido, para baixo, em direção aos ventrículos, onde ocorre a invasão pelo tecido sulcal e pelo tecido da saliência bulbo (cono) ventricular, formando, assim, os anéis fibrosos valvares.

Com as torções do tubo cardíaco primitivo os orifícios pulmonar e aórtico situam-se no mesmo nível do canal muscular atrioventricular. E no interior do tubo cardíaco primitivo aparece na região do sulco bulbo

(cono) ventricular, a saliência bulbo (cono) ventricular que após sua absorção, e integração do bulbus cordis ao ventrículo primitivo fez com que os orifícios das valvas aórtica e mitral se aproximem e se juntem, ajudando a compor o esqueleto fibroso<sup>9</sup>. A absorção do conus aórtico explica a formação da continuidade mitro-aórtica do esqueleto fibroso<sup>23</sup>.

**Formação do septum primum**—Na região dorsal dos embriões com 5 mmCR a musculatura atrial exibe uma fenda na linha média na qual infiltra-se material mesenquimatoso oriundo do mesocárdio dorsal, até o interior da cavidade atrial em direção à parede ventral do átrio primitivo. Este tecido mesenquimatoso entrando em contacto com as bordas superior e inferior do coxim endocárdico forma a crista inferior do septum primum.

Um importante estudo sobre as origens embriológicas e desenvolvimento desta estrutura foi feito por Puerta Fonolla e Orts Llorca em 1978<sup>24</sup>.

No estágio 16 de O’Rahilly<sup>25</sup> estando o embrião com 9,5 mmCR o ostium primum está completamente fechado pelo septum primum que se conectou com os tubérculos esquerdos dos coxins endocárdicos. Devemos, ainda, lembrar que a fusão dos tubérculos direitos e esquerdos dos coxins endocárdicos é essencial para o processo de fechamento dos septos atrial e ventricular como cita Medeiros Sobrinho<sup>19</sup>.

Da conexão entre o septum primum e o Coxim endocárdico dorsal resultará a participação daquele no esqueleto fibroso do coração.

**Formação da porção membranosa do septo interventricular**—A porção membranosa do septo interventricular é das últimas estruturas cardíacas a se completar, quando o embrião está com 6 semanas de vida (25-30 mmCR), causando o fechamento do forâmulo interventricular terciário<sup>26</sup>.

McBride e col<sup>27</sup> estudando embriões desde as fases iniciais do desenvolvimento até o término da septação ventricular admitiram que o componente atrioventricular da porção membranosa do septo interventricular se dá pela fusão da crista tronco-conal direita com o coxim endocárdico lateral direito, e que o componente interventricular da porção membranosa do septo interventricular se dá pela proliferação dos coxins endocárdicos.

Como citamos anteriormente nos corações formados observamos que a parte superior do septo membranoso interventricular está em continuidade direta com a parede anterior da aorta ascendente, nos embriões com 50 dias de vida este fato já pode ser observado (fig. 6).

Ao que tudo indica esta região do componente interventricular do septo membranoso resulta da infiltração do tecido sulcal no coxim endocárdico e posterior transformação em tecido conjuntivo<sup>6,27</sup>.

A transformação da parte membranosa em suas porções atrioventricular e interventricular ocorre em períodos tardios da vida fetal, ou no período precoce da vida pós natal, estando, este fato associado à libera-

ção da cúspide medial da valva tricúspide que está presa na musculatura do septo interventricular<sup>28</sup>.

**Formação do tendão de Todaro**—O tendão de Todaro é uma estrutura fibrosa que faz parte do esqueleto fibroso do coração e sua embriogênese ocorre nos embriões com aproximadamente 44 dias de vida, 17 mmCR<sup>18</sup>.

Quando os coxins endocárdicos encontram-se fundidos, uma densa faixa de tecido mesenquimatoso situa-se entre estes e o septum primum, prevenindo um contacto mais direto entre eles. Podemos acompanhar esta faixa de tecido até os orifícios venosos, continuando com as valvas venosas do átrio direito, sugerindo que este tecido mesenquimatoso formará o tendão de Todaro<sup>18</sup>.

A faixa de tecido mesenquimatoso descrita acima está em continuidade com o tecido sulcal, sugerindo deste modo que também o tendão de Todaro tem origem a partir de estruturas embriológicas oriundas da parte externa do coração.

## RELAÇÃO DO SISTEMA ESQUELÉTICO COM O NÓ E O FEIXE AV

O esqueleto fibroso do coração separa os átrios dos ventrículos, servindo de base de sustentação para os feixes musculares e valvas cardíacas. Esta separação anatômica e funcional das câmaras cardíacas só é quebrada pelo sistema de condução AV.

Quando os anéis fibrosos de sustentação das valvas estão se formando tem-se a impressão que o feixe AV perfura o anel fibroso para poder atingir o septo interventricular, mas na realidade, tanto o feixe como o nó AV mantêm a sua posição original e as estruturas que os rodeiam se modificam. Outro fato a este favor é que o tecido especializado de condução AV está sempre em íntimo contacto anatômico e funcional com as paredes do átrio direito, veias cavas e seio venoso<sup>29</sup>.

A bainha fibrosa que reveste o feixe AV resulta da invaginação do tecido sulcal através da extensão dorso-caudal da crista tronco-conal direita<sup>30</sup>.

## REFERÊNCIAS

- Fortuna ABP—Anatomia cirúrgica da estenose mitral, aspecto valvar. Campinas, 1983. Tese docência livre de cirurgia cardíaca.
- Hilário J—Contribuição à cirurgia da válvula mitral. Rio de Janeiro, 1955. Tese de Cátedra, Faculdade Nacional de Medicina da Universidade do Brasil.
- Walmsley R—Anatomy of human mitral valve in adult cadaver and comparative anatomy of the valve. *Br Heart J*, 40: 351, 1978.
- Licata RH—The human embryonic heart in the ninth week. *Am J Anat*, 94: 73, 1954.
- Mall FP—On the development of the human heart. *Am J Anat*, 13: 249, 1912.
- Mall FP—On the age of human embryos. *Am J Anat*, 23: 397, 1918.
- Mc Alpine WA—Heart and coronary arteries. An anatomical atlas for clinical diagnosis, radiological investigation, and surgical treatment. New York, Springer Verlag, 1975.
- Anderson RH, Beeker AK, Kirklin JW—The fibrous skeleton of the heart. In: Anderson RH, Beeker AK, Kirklin JW—*Cardiac Anatomy*. London, Churchill Livingstone, 1980. p. 5.
- Grant RP—The embryology of ventricular flow pathways in man. *Circulation*, 25: 758, 1962.
- Waslmsley R, Watson H—The outflow tract of the left ventricle. *Br Heart J*, 28: 435, 1966.
- Walmsley R, Watson H—Clinical anatomy of the heart. London, Churchill Livingstone, 1978.
- Walmsley R—Gross anatomy of the heart. *Anat Rec*, 136: 298, 1960.
- Walmsley R—Anatomy of left ventricular outflow tract. *Br Heart J*, 41: 263, 1979.
- Zimmerman J, Bailey CP—The surgical significance of the fibrous skeleton of the heart. *J thorac cardiovasc surg*, 44: 701, 1962.
- Van Gils FAW—The development of the human atrioventricular heart valves. *J Anat*, 128: 427, 1979.
- Anderson RH, Becker AK, Wenink ACG, Janse MJ—The development of the cardiac specialized tissue. In: Wellens HJJ, Lie KJ, Janse MJ—*The conduction system of the heart: structure, functions and clinical implications*, Philadelphia, Lea & Febiger, 1976. p. 3.
- Anderson RH, Becker AK, Wenink ACG—The development of the conducting tissue. In: Roberts NK, Gelband H—*The Cardiac Arrhythmias in Neonate, Infant and Child*. New York, Appleton Century Crofts, 1977. p. 1.
- Van Gils FAW—The fibrous skeleton in the human heart. Embryological and pathogenetic considerations. *Virchows Arch (Pathol. Anat)* 393: 61, 1981.
- Medeiros Sobrinho JH—Septogênese cardíaca defeitos septais. In: *Embriologia e taxonomia das malformações cardiovasculares*. São Paulo, Sarvier, 1977. p. 21.
- Odgers PNB—The development of the pars membranacea septi in the human heart. *J Anat Physiol*, 72: 247, 1938.
- Meredith MA, Hutchins GM, Moore GW—Role of the left inter-ventricular sulcus in formation of the interventricular septum and crista supraventricularis in normal human cardiogenesis. *Anat Rec*, 194: 417, 1979.
- Wenink ACG—Embryology of the ventricular septum. Separate origins of its components. *Virchows Arch. (pathol Anat)* 390: 71, 1981.
- Goor DA, Dische R, Lillehei CW—The conotruncus. I. Its normal inversion and conus absorption. *Circulation*, 46: 375, 1972.
- Puerta Fonolla AJ, Orts Llorca F—Origins and development of the septum primum. *Acta Anat*, 100: 250, 1978.
- O'Rahilly R—The timing and sequence of events in human cardiogenesis. *Acta Anat*, 79: 70, 1971.
- Goor DA, Edwards JE, Lillehei W—The development of the inter-ventricular septum of the human heart correlative morphogenetic study. *Chest*, 58: 453, 1970a.
- Mac Bride RE, Moore WC, Hutchins GM—Development of the outflow tract and closure of the interventricular septum in the normal human heart. *Am J Anat*, 160: 309, 1981.
- Allwork SP, Anderson RH—Development anatomy of the membranous part of the ventricular septum in the human heart. *Br Heart J*, 41: 275, 1979.
- Los JA—Die entwicklung der septum sinus venosi cordis. Die herzentwicklung des menschen, von einer vergessenen struktur aus untersucht. *Zsch Anat Entwickl Gresh*, 122: 173, 1960.
- Wenink ACG—Development of the human cardiac conducting system. *J Anat*, 121: 617, 1976.