

# **Evolución y ventrículo derecho**

**JORGE C. TRAININI\*, GERARDO E. AVENTIN\*\*, RENATO AURICCHIO\***

\* Servicio de Cirugía Cardíaca, Hospital "Prof. Ricardo Finochietto", Buenos Aires

\*\* Servicio de Cirugía Torácica, Hospital "San Juan de Dios", Buenos Aires

Trabajo recibido para su publicación: 11/90. Aceptado: 2/91

*Dirección para separatas:* Brandsen 1690, 3er. Piso, Dto. "A", (1237) Buenos Aires.

**El paso de la vida acuática a la respiración aérea significó para la evolución la necesidad de la conformación de un hemicardio derecho. Desde el primer esbozo de circulación pulmonar, en los peces pulmonados, durante el período devónico, hasta la construcción definitiva de un corazón derecho lograda a partir de los cocodrilianos, en el período jurásico, este proceso evolutivo tuvo una duración de doscientos millones de años. Pero este hecho, resultado de la adaptación a la vida terrestre, se llevó a cabo con un**

patrón de flujo coronario evolutivamente anterior, el de los peces. Esta partición ventricular, evolutivamente posterior a la patente de circulación coronaria trajo aparejado un índice de irrigación/masa miocárdica mayor en el ventrículo derecho que en el izquierdo, adaptándolo, además, a presiones y resistencias de 1/5 de las sistémicas.

El pasaje a la tierra por animales que hasta ese momento habitaban en el agua fue un paso fundamental pero progresivo.<sup>1</sup> La consecuente adaptación a la reaparición aérea obligó a una transformación morfológica y funcional de los sistemas respiratorio y circulatorio, lo cual trajo aparejado, en su nuevo nivel de complejidad, el desarrollo del hemicordio derecho.<sup>2</sup> La adecuación al nicho ecológico terrestre no debe considerarse conceptualmente una obra de ingeniería. La naturaleza no busca la perfección, sino la adaptación a la oportunidad. El intercambio continuo entre lo aleatorio de lo genético y el entorno ambiental establece una presión de selección que delinea en forma continua la funcionalidad de los organismos.<sup>3</sup> Y en este devenir, la naturaleza trabaja a través del bricolage, vocablo derivado del francés *bricoleur*, que no reconoce término aceptable en castellano. Con bricolage se manifiesta el accionar de la naturaleza, la cual apela a la construcción de estructuras nuevas sobre las antiguas, sin responder a ningún proyecto finalista, sino utilizando soluciones sobre lo existente, aprovechando acontecimientos contingentes.<sup>4</sup> Esta actitud evolutiva se vislumbra, como consecuencia de la adaptación a la respiración aérea, en el desarrollo del hemicordio derecho. La nueva conformación del sistema circulatorio determinó la septación del corazón primitivo, el cual contaba con una patente de irrigación coronaria que se mantuvo inalterable a pesar de la partición ventricular y que demuestra el bricolage de la naturaleza al cual aludíamos.

Con el fin de llegar a la síntesis de este concepto analizaremos a los vertebrados (Cuadro 1), los cuales se caracterizan por contar con un notocordio, una cuerda nerviosa dorsal y aberturas branquiales. Esta última particularidad se encuentra en el desarrollo embrionario de la totalidad de los cordados, pero no es evidente en los miembros adultos de los vertebrados superiores.

En esta línea evolutiva analizaremos: amphioxus, ciclóstomos, peces, peces pulmonados, anfibios, reptiles, aves. Debe aclararse que los miembros de las especies que existen en la actualidad no representan un encadenamiento evolutivo lineal, sino que se consideran productos terminales de líneas divergentes de evolución

con antepasados comunes.

**Amphioxus:** Perteneciente a los cefalocordados, ocupa un sitio de importancia pues se parece a un antecesor primitivo, del cual derivan los vertebrados. Un tubo cardíaco indiferenciado, provisto de una sola cavidad, configura el sistema circulatorio, el cual impulsa la sangre hacia las arterias branquiales.

**Ciclóstomos (clase agnatos):** Posee un tubo de circulación sencilla. El seno venoso recibe las venas cardinal, yugular interna y hepática, para abrirse en una aurícula grande y de pared delgada que comunica con un ventrículo de pared espesa a través de una válvula auriculoventricular; la cual consta de cuerdas tendinosas para su fijación. El ventrículo se continúa con el bulbo, hallándose en el límite una válvula semilunar. De acuerdo con este esquema, la sangre venosa, que es la única que atraviesa el corazón, circula por el seno venoso, aurícula, ventrículo, bulbo, aorta y branquias.

**Peces:** A pesar de tener una sola aurícula, ella se abomba a cada lado del ventrículo. Este último comunica con el cono arterial, el cual presenta una serie de válvulas semilunares que impiden el retroceso sanguíneo. Como variante, este tubo cardíaco no es lineal sino que se halla acodado en forma de S. Como en los ciclóstomos, el corazón es únicamente venoso y la circulación es sencilla. Un hecho trascendente lo constituye la aparición de la circulación coronaria, a partir del segundo par de arcos arte-

Cuadro 1  
Clasificación esquemática de los vertebrados

<i>Subfilum</i>	<i>Superclase</i>	<i>Clase</i>
Acranios		Hemicordados Urocordados Cefalocordados
Craniados	Peces	Agnatos Condroictios Osteoictios
	Tetrápodos	Anfibios Reptiles Aves Mamíferos

riales branquiales eferentes.<sup>5</sup> Esta patente de irrigación miocárdica se ha mantenido estable a pesar de los cambios evolutivos surgidos posteriormente con la septación intracavitaria, lo cual derivó en morfologías diferentes para los ventrículos así conformados.

**Peces pulmonados:** Este punto evolutivo es de gran interés, pues representa a los primeros animales con esbozo de circulación pulmonar, dada la necesidad de alternantes períodos de respiración aérea con la acuática. La iniciación del sistema pulmonar en los vertebrados tuvo su origen en peces de agua dulce, que habitaban en aguas estancadas pobres en oxígeno. Ante tal situación, tuvieron que ir adaptándose a absorber el oxígeno a través de las paredes esofágicas. Posteriormente se desarrolló una excrecencia en el extremo anterior del tubo digestivo, la cual en la línea de peces que dieron origen a los vertebrados terrestres, dicho esbozo se trocó en pulmón. El paso siguiente fue aumentar la superficie cubierta de capilares, con el fin de absorber oxígeno.<sup>6</sup>

Emparentados con los peces que dieron origen a los vertebrados terrestres se encuentran los peces pulmonados, aparecidos en el período devónico, hace 375 millones de años. De estos peces, denominados dipneumónidos (pulmón doble), se conocen ocho géneros fósiles y tres actuales. Hoy en día se pueden hallar ejemplares en aguas cálidas del Nilo (protópteros), en Australia (neocerátodos) y en América del Sur (cuenca del Amazonas, Chaco), en donde se los denomina lepidosirena, loalach o con el nombre indígena de caramurú. Es un animal de carácter primitivo, de cuerpo alargado, cilíndrico, de una longitud de 1 a 1,5 metros, y propio de las lagunas. Estos peces se hallan en el estadio en el cual el desprendimiento esofágico formó una cavidad denominada vejiga natatoria, que puede actuar como flotador y en algunas especies (pronotus) emitir sonidos. Puede hallarse conectada al esófago o haber perdido dicha conexión. Las células de la vejiga natatoria poseen la propiedad, única en el reino animal, de secretar en su extremo anterior oxígeno dentro de ella, mientras que del polo posterior lo extrae y transfiere a la corriente sanguínea. En estación seca respiran con esta vejiga, que está provista de una arteria pulmonar, y que es un simple saco, único o doble.

En estos animales, la aurícula se divide en forma parcial, permitiendo que el seno venoso se abra en la aurícula derecha, y los vasos que llegan de la vejiga natatoria devuelvan la sangre a la aurícula izquierda. Presentan septo inter-

ventricular incompleto. A su vez el cono arterial está dividido en una rama portadora de sangre oxigenada que transporta sangre a las branquias anteriores, y en otra rama que con sangre sin oxigenar la lleva a las branquias posteriores y a la vejiga natatoria, funcionando como arteria pulmonar (vasos procedentes del VI arco). Se puede inferir que aquí comienza el sistema circulatorio doble; sin embargo, no ha sido posible obtener datos fisiológicos incontrovertibles de una separación completa de la sangre.

**Anfibios:** Como estadio intermedio encontramos en algunas especies de peces la habilidad de trasladarse fuera del agua, como por ejemplo el *Periophthalmus* y el *Anabas Scandens*. Este último, teleósteo indiano de agua dulce, va por los bordes de los ríos en busca de insectos, trasladándose con las aletas pectorales y respirando oxígeno atmosférico.

En los anfibios, un tabique interauricular divide a las dos aurículas, desembocando en la derecha el seno venoso, representando esta situación una solución parcial. Existe un solo ventrículo morfológico, pero haces musculares establecen una división funcional, impidiendo que la sangre en su interior se mezcle totalmente. Ambas aurículas se conectan al ventrículo a través de válvulas auriculoventriculares. Por su parte, este último desemboca en el bulbo, el cual posee una válvula espiralada en el centro, dividiéndolo en dos canales y estableciendo, de este modo, la separación del flujo sistémico del pulmonar, que aunque no sea anatómica es funcional.

**Reptiles:** El corazón, en este escalón evolutivo, presenta cuatro cavidades definidas, pero todavía ambos ventrículos se intercomunican a través de la parte anterior del septum interventricular. Dentro de esta clase aparece el primer orden con separación completa de los ventrículos y desarrollo consecuente en el espesor de la pared del ventrículo izquierdo. Este es el crocodilia (cocodrilos, caimanes), cuya aparición se lleva a cabo al principio del jurásico, hace unos 165 millones de años.<sup>7</sup> Los cocodrilianos están alejados de los demás órdenes reptilianos recientes. Exclusión hecha de las aves, han llegado hasta nuestros días como única rama de los arcosaurios, con registro inicial en el pérmico (200 millones de años atrás).

El cono de todos los reptiles presenta un tronco pulmonar que sale del ventrículo derecho y dos troncos sistémicos que emergen del ventrículo derecho, el izquierdo; y del ventrículo izquierdo el derecho. Ambos troncos aórticos

se entrecruzan, conectándose entre ellos a través del agujero de Panizza, lo cual permite la mezcla de sangre.

**Aves:** Se originan de un tronco común con el orden de los cocodrilianos.<sup>8</sup> Esta circunstancia no hubo de ser aleatoria, sino debido a la presión de adaptación al vuelo. Esta característica hace necesario un esfuerzo muscular de importancia, lo cual obliga a un rápido intercambio gaseoso, que conlleva la necesidad de una circulación doble completa. Sin comunicación entre las cámaras derecha e izquierda, el ventrículo sistémico se muestra de paredes muy gruesas, el cual conduce la sangre al único arco aórtico.

### CONCLUSIONES

El ventrículo derecho del ser humano revela algunos datos esclarecedores del problema planteado, cuando se efectúa la relación con el ventrículo izquierdo, los cuales analizaremos.<sup>9</sup> El ventrículo derecho presenta características anatomofisiológicas diferentes: circulación coronaria en las dos fases del movimiento circulatorio, posibilidad de irrigación cavitaria, menor presión y resistencia en el desarrollo del trabajo muscular, pared contráctil delgada, mayor vascularización por masa miocárdica, menor requerimiento energético. Estas particularidades se hacen evidentes a partir de los cocodrilianos, los cuales presentan a los primeros animales con septación ventricular completa. Esta partición ventricular, evolutivamente posterior a la patente de circulación coronaria, explica el mayor índice de irrigación/masa miocárdica que posee el ventrículo derecho en relación con el izquierdo, ya que el flujo coronario estaba determinado en su concepción primitiva para irrigar un ventrículo único por medio de las dos coronarias, el cual se hallaba condicionado para soportar presiones y resistencias uniformes en toda su cavidad. El desarrollo de un hemicardio derecho independiente diferenció el trabajo de cada cavidad ventricular. Así, el ventrículo derecho se adaptó a presiones y resistencias de 1/5 de la sistémica.

Desde los peces pulmonados, que fueron los primeros en contar con un esbozo de circulación pulmonar, aparecidos durante el período devónico, hace 375 millones de años, hasta la conformación definitiva de un hemicar-

dio derecho lograda a partir de los cocodrilianos en el período jurásico, unos 165 millones de años atrás, este proceso evolutivo tuvo una duración de unos 200 millones de años, al cabo del cual se conformó una cámara independiente de volumen con características funcionales propias. Pero este hecho, resultado de la adaptación a la vida terrestre, se llevó a cabo con un patrón de flujo coronario evolutivamente anterior, el de los peces, fiel a la improvisación con que actúa la naturaleza.

### SUMMARY

**The switch from the aquatic life to the earth life breathing air, was the cause for the developing of the right heart. The evolutive process from the first primitive pulmonary circulation in the first fishes with lungs in the devonic period; to the final well developed right heart in the cocodrileans group in the jurasic period; ended after 200 million years. This fact, the developing of the right heart, was the consequence of the adaptation to the earth life and it was carry out with an anterior pattern of coronary flow, the fishes pat. The ventricular division in right and left ventricles was done posterior if it is compared to the "anterior" pattern of coronary flow and it was the cause of an blood supply/ventricular muscle index that is higher in the right ventricle than in the left one. Actually, the right ventricle is adapted to receive lower pressures and resistances values (1/5 lower) than the left.**

### BIBLIOGRAFIA

1. Padoa E: Historia de la vida sobre la Tierra. Eudeba, Buenos Aires, 1979, p 123.
2. Trainini JC, Molinari P, Mauriño J, Del Bagno H, Ferretti M, Colombo R, Troitiño J, Jaimes F: Oclusión experimental de la arteria mesentérica superior. Acción del oxígeno por vía digestiva. Rev Arg Cir 42: 13-18, 1982.
3. Lewontin RC: La adaptación. In: Evolución. Ed Labor, Barcelona, 1982, pp 139-151.
4. Jacob F: El juego de lo posible. Ed Grijalbo, Barcelona, 1982, p 72.
5. Montagna W: Anatomía comparada. Ed Omega, Barcelona, 1981, p 203.
6. Trainini JC: Oclusión experimental de la arteria mesentérica superior. Tesis de doctorado. Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires, 1984, p 4.
7. Colbert EH: El libro de los dinosaurios. Eudeba, Buenos Aires, 1979, p 35.
8. Valentine JW: La evolución de las plantas y animales pluricelulares. In: Evolución, Ed Labor, Barcelona, 1982, p 83.
9. Trainini JC, Flores JC, CACHEDA JH, Bogado R, Troiano S, Cusumano H, Jaimes FR, Stutz JC, Cichero DA: Exclusión experimental del ventrículo derecho. Rev Arg Cardiol 56: 134-142, 1988.